
DIPLOMARBEIT

Herr Ing.

Mirel Kandzetovic

Ordnungsgemäße Heizungs- unterstützung mittels Solarthermie

Mittweida, 2014

DIPLOMARBEIT

Ordnungsgemäße Heizungs- unterstützung mittels Solarthermie

Autor:

Herr Ing.

Mirel Kandzetovic

Studiengang:

Maschinenbau/Gebäudetechnik

Seminargruppe:

KM10wGVA-F

Erstprüfer:

Prof. Dr. Ing. Jörg Mehlis

Zweitprüfer:

Dipl.-Ing. Gabriele Endres

Einreichung:

Mittweida, 31.07.2014

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2014

DIPLOMA THESIS

Correct heating assistance by using solar heat

author:

Mr. Ing.

Mirel Kandzetovic

course of studies:

Mechanical/Facilities Engineering

seminar group:

KM10wGVA-F

first examiner:

Prof. Dr. Ing. Jörg Mehlis

second examiner:

Dipl.-Ing. Gabriele Endres

submission:

Mittweida, 31.07.2014

defence/ evaluation:

Mittweida, 2014

Bibliografische Beschreibung:

Kandzetic, Mirel:

Ordnungsgemäße Heizungsunterstützung mittels Solarthermie. - 2014. - 13, 77, 3

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau/Gebäudetechnik,
Diplomarbeit, 2014

Referat:

Diese Arbeit befasst sich hauptsächlich damit die Wege aufzuzeigen eine Solarthermische Anlage optimal auszulegen, zu berechnen und in ein Heizungssystem zur optimalen Heizungsunterstützung einzubinden. Dabei werden alle Möglichkeiten zur Verbesserung und Optimierung, sowie Wirtschaftlichkeitsberechnung behandelt.

Danksagung

Ich möchte mich in erster Linie bei meiner lieben Frau bedanken, die mich immer und zu jedem Zeitpunkt unterstützt hat und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist. Aufgrund meiner beruflichen Tätigkeit und dem Studium hatte ich in den letzten zwei Jahren nur sehr wenig Zeit, die ich mit ihr und unserem Sohn, der letztes Jahr zur Welt kam, verbringen konnte. Dazu kommt noch, dass wir im Jahr 2013 ein neues Haus gebaut haben, in das wir mittlerweile eingezogen sind. Trotz all dieser Ereignisse hat sie mich immer unterstützt und hatte immer Verständnis, wenn ich einmal keine Zeit hatte oder schlecht gelaunt war.

Weiters möchte ich mich noch ganz besonders bei meinen Eltern bedanken, die mich in jedem meiner Vorhaben unterstützt haben und immer an mich geglaubt haben. Ich werde nie so viel zurückgeben können, wie sie mir in meinem Leben gegeben haben, denn dafür reicht ein Leben nicht aus.

Deswegen widme ich diese Diplomarbeit meiner lieben Frau und meinen Eltern.

Ich möchte mich noch ganz herzlich bei meiner Cousine Fr. DI. Dr. Marizela Delic bedanken, die extra früher aus ihrem Urlaub zurückgereist ist um meine Diplomarbeit Korrektur zu lesen.

Ein besonderer Dank gilt auch meinem Betreuer von der Hochschule Mittweida Hr. Prof. Dr. Ing. Jörg Mehlis, der mir zahlreiche nützliche Ratschläge in Bezug auf meine Diplomarbeit gegeben hat.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	10
1 Einleitung.....	11
1.1 <i>Motivation.....</i>	11
1.2 <i>Aufbau der Diplomarbeit.....</i>	12
1.3 <i>Zielsetzung.....</i>	12
2 Energiebedarf	13
2.1 <i>Weltweite Entwicklung des Energiebedarfs</i>	13
2.2 <i>Auswirkungen des Energiebedarfs</i>	14
3 Sonne	16
3.1 <i>Einleitung Sonne</i>	16
3.2 <i>Sonne als Energiequelle.....</i>	17
3.3 <i>Aufbau der Sonne</i>	19
4 Solarthermische Systeme.....	21
4.1 <i>Grundlagen der Solarthermie</i>	21
4.2 <i>Aktive und passive Solarthermie</i>	21
4.3 <i>Kollektoren</i>	24
4.3.1 <i>Kollektorarten und typische Einsatztemperaturen.....</i>	24
4.4 <i>Wirkungsgrad.....</i>	29
4.4.1 <i>Optischer Wirkungsgrad.....</i>	30
4.5 <i>Solarflüssigkeit</i>	31
4.5.1 <i>Propylenglykol-Wasser-Lösung.....</i>	31
4.5.2 <i>Reinwasser</i>	32

5	Solarthermische Systeme zur Heizungsunterstützung	34
5.1	<i>Erstellung des Grundkonzepts</i>	34
5.1.1	<i>Neubau/Altbau</i>	34
5.1.2	<i>Jährliche Einstrahlung.....</i>	38
5.1.3	<i>Montage-Varianten</i>	39
5.1.3.1	<i>Aufdach-Montage.....</i>	39
5.1.3.2	<i>Indach-Montage.....</i>	40
5.1.3.3	<i>Flachdach-Montage</i>	41
5.1.4	<i>Energiebedarf</i>	42
5.1.5	<i>Warmwasserverbrauch</i>	44
5.2	<i>Berechnung der benötigten Solarfläche</i>	45
5.2.1	<i>Schnellverfahren.....</i>	45
5.2.2	<i>Dimensionierung mittels Auslegungsdiagramm.....</i>	49
5.3	<i>Optimale Ausrichtung und Neigung.....</i>	51
5.4	<i>Sicherheitstechnische Ausrüstung</i>	53
5.4.1	<i>Sicherheitsventil.....</i>	54
5.4.2	<i>Ausdehnungsgefäß.....</i>	55
5.4.3	<i>Wichtige Sicherheitshinweise zur Installation von Solaranlagen.....</i>	58
5.5	<i>Auslegung der Wärmetauscher.....</i>	59
5.5.1	<i>Wärmetauscherarten und deren Klassifizierung.....</i>	59
5.5.2	<i>Allgemeine Gesetzmäßigkeiten von Wärmetauschern</i>	61
5.5.3	<i>Plattenwärmeübertrager.....</i>	62
5.5.3.1	<i>Aufbau eines Plattenwärmetauschers.....</i>	62
5.5.3.2	<i>Auslegung eines Plattenwärmetauschers.....</i>	64
5.6	<i>Verrohrung von Solarkollektoren.....</i>	65
5.6.1	<i>Innere Verrohrung.....</i>	65
5.6.2	<i>Externe Verrohrung.....</i>	66
5.6.2.1	<i>Serielle Verrohrung.....</i>	66
5.6.2.2	<i>Parallele Verrohrung</i>	67
5.6.3	<i>Durchströmung von Solarkollektoren</i>	68
5.6.3.1	<i>High-Flow.....</i>	68
5.6.3.2	<i>Low-Flow</i>	69

5.6.3.3	<i>Matched Flow</i>	69
6	Optimale Einbindung in ein Heizungssystem	70
6.1	<i>Grundsätzlich ist zu beachten</i>	70
6.2	<i>Speicher</i>	71
6.2.2	<i>Schichtenspeicher</i>	73
6.3	<i>Optimierung mittels Schichtlademodul</i>	74
6.4	<i>Optimierung der Regelung</i>	76
6.5	<i>Reduzierung der Wärmeverluste</i>	79
6.5.1	<i>Speicherverluste</i>	79
6.5.2	<i>Anschlussverluste</i>	80
6.5.3	<i>Rohrleitungsverluste</i>	81
6.6	<i>Stagnation vermeiden</i>	82
7	Wirtschaftlichkeit	83
7.1	<i>Amortisationsdauer berechnen</i>	83
7.2	<i>Ermittlung der Annuität</i>	84
8	Fazit	87
	Literaturverzeichnis	88
	Selbstständigkeitserklärung	90

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1.1	Auszug aus dem Statistical Review of World Energy 2014.....	13
Abb. 2.1.2	Jährlicher pro Kopf Energieverbrauch in Kilogramm Öl	14
Abb. 3.3.1	Aufbau der Sonne	19
Abb. 4.2.1	Aktive und passive Solarthermie	21
Abb. 4.3.1.1	Querschnitt durch einen Flachkollektor.....	24
Abb. 4.3.1.2	Kollektoreinbauvarianten.....	25
Abb. 4.3.1.3	Vakuumröhrenkollektor.....	25
Abb. 4.3.1.4	Absorber für Schwimmbadanlagen.....	26
Abb. 4.3.1.5	Speicherkollektor.....	27
Abb. 4.3.1.6	Luftkollektor.....	28
Abb. 4.4.1	Energiegewinnung im Sonnenkollektor.....	29
Abb. 5.1.1.1	Thermische Solaranlage im Altbau.....	35
Abb. 5.1.1.2	Verschattung durch ein Gebäude	36
Abb. 5.1.1.3	Verschattung durch Bäume	36
Abb. 5.1.1.4	Thermische Solaranlage im Altbau - Dachsanierung.....	37
Abb. 5.1.2.1	Jährliche Solare Einstrahlung in Europa.....	38
Abb. 5.1.3.1.1	Aufdach-Montage mit Aufständering	39
Abb. 5.1.3.1.2	Indach-Montage	40
Abb. 5.1.3.3.1	Betonballast für Flachdach-Montage	41
Abb. 5.1.3.3.2	Flachdach-Montage.....	42
Abb. 5.1.4.1	Verluste bei Umwandlung von Primärenergie.....	43
Abb. 5.1.4.2	Energiebedarf im Einfamilienhaus	44
Abb. 5.2.1.1	Solarer Deckungsanteil	47
Abb. 5.2.2.1	Dimensionierungsdiagramm für Mehrfamilienhäuser.....	49
Abb. 5.3.1	Sonnenverlauf Sommer und Winter.....	52
Abb. 5.3.2	Ausbeuteverringern bei Abweichung von Südrichtung.....	52
Abb. 5.3.3	Ausbeuteverringern bei Abweichung von optimaler Neigung	53
Abb. 5.3.4	Optimale Neigung.....	53

<i>Abb. 5.4.1</i>	<i>Aufbau und Funktionsschema einer einfachen Solaranlage.....</i>	<i>54</i>
<i>Abb. 5.4.1.1</i>	<i>Membran-Sicherheitsventil</i>	<i>55</i>
<i>Abb. 5.4.1.2</i>	<i>Membran-Sicherheitsventil im Schnitt.....</i>	<i>55</i>
<i>Abb. 5.4.2.1</i>	<i>Membran-Ausdehnungsgefäß.....</i>	<i>56</i>
<i>Abb. 5.4.2.2</i>	<i>Membran-Ausdehnungsgefäß - Funktionsweise</i>	<i>58</i>
<i>Abb. 5.5.1.1</i>	<i>Klassifizierung von Wärmetauschertypen</i>	<i>60</i>
<i>Abb. 5.5.2.1</i>	<i>Abstrahiertes Modell eines Gegenstromwärmetauschers</i>	<i>61</i>
<i>Abb. 5.5.3.1.1</i>	<i>Aufbau eines geschraubten Plattenwärmetauschers</i>	<i>62</i>
<i>Abb. 5.5.3.1.2</i>	<i>Aufbau eines gelöteten Plattenwärmetauschers</i>	<i>63</i>
<i>Abb. 5.5.3.2.1</i>	<i>Solarstation mit Plattenwärmetauscher.....</i>	<i>64</i>
<i>Abb. 5.6.1.1</i>	<i>Harfenförmige, mäanderförmige und U-förmige Verrohrung</i>	<i>65</i>
<i>Abb. 5.6.2.1.1</i>	<i>Serielle Kollektorverrohrung.....</i>	<i>66</i>
<i>Abb. 5.6.2.1.2</i>	<i>Tichelmann-System.....</i>	<i>67</i>
<i>Abb. 5.6.3.1</i>	<i>Die Arten der Durchströmung von Kollektoren.....</i>	<i>68</i>
<i>Abb. 6.2.1.1</i>	<i>Beladevorgang</i>	<i>71</i>
<i>Abb. 6.2.1.2</i>	<i>Entladevorgang</i>	<i>72</i>
<i>Abb. 6.2.2.1</i>	<i>Die Schichten eines Pufferspeichers.....</i>	<i>73</i>
<i>Abb. 6.3.1</i>	<i>Schichtlademodul mit Plattenwärmetauscher.....</i>	<i>74</i>
<i>Abb. 6.3.2</i>	<i>Einbindung eines Schichtlademoduls.....</i>	<i>75</i>
<i>Abb. 6.5.1.1</i>	<i>Pufferspeicher inkl. Dämmung.....</i>	<i>79</i>
<i>Abb. 6.5.2.1</i>	<i>Siphonierung</i>	<i>81</i>
<i>Abb. 7.1</i>	<i>Entwicklung Rohölpreise.....</i>	<i>84</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 2.2.1</i>	<i>Reichweite der genutzten Energieträger Stand 2006.....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 3.1.1</i>	<i>Eckdaten der Sonne I.....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 3.1.2</i>	<i>Eckdaten der Sonne II.....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 5.1.5.1</i>	<i>Warmwasserbedarf</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 5.2.2.1</i>	<i>Korrekturfaktoren zur Ermittlung der korrigierten Aperturfläche</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 5.6.3.1</i>	<i>Die Arten der Durchströmung von Kollektoren.....</i>	<i>68</i>

1 Einleitung

1.1 Motivation

Auf das Thema meiner Diplomarbeit kam ich im Rahmen meiner beruflichen Tätigkeit als Bauleiter bei der Firma Förstl GmbH & Co.KG. Das ist ein Heizungs- und Sanitärinstallationsunternehmen. Ich bin seit 2008 dort angestellt und kümmere mich um den Einkauf, Verkauf, Planung und übernehme die Bauleitung für mehrere Bauvorhaben.

Eines meiner zahlreichen Projekte ist die sogenannte „Alte Saline“ in Ebensee (Oberösterreich). Dies ist eine neu errichtete Wohnhausanlage mit 15 Wohnungen. Neben einer neuen Gasheizung sollte das Gebäude auch über eine Solaranlage zur Heizungsunterstützung verfügen. Das Thema Solaranlage kam während einer Baubesprechung zur Sprache und ich führte mit dem Haustechnikplaner ein längeres Gespräch. Ich hatte nämlich zuvor bei einem anderen Projekt das Problem, dass die Solaranlage nicht den erwünschten Ertrag lieferte. Nach langem Analysieren erkannte ich, dass die Einbindung in die Heizungsanlage nicht optimal ausgeführt wurde. Dies wollte ich bei diesem Projekt vermeiden und plante, die Einbindung, obwohl vom Haustechnikplaner anders gedacht, zu ändern. Nach langem hin und her stimmte der Planer meinem Vorschlag zu und ich konnte die Solaranlage, meiner Meinung nach optimal in das Heizungssystem einbinden.

Nach dieser Baubesprechung kam ich ins Grübeln. Ich dachte, wenn selbst ein Haustechnikplaner sich der möglichen Verluste, bei einer falsch oder nicht optimal ausgeführten Solaranlage nicht bewusst ist, dann kann es durchaus vorkommen, dass eine Solaranlage bei einem ganz normalen Einfamilienhaus (ohne Haustechnikplaner) nicht optimal ausgeführt wird und somit der gewünschte Ertrag ausbleibt. Aus diesem Grund wählte ich das Thema „Ordnungsgemäße Heizungsunterstützung mittels Solarthermie“. Hier versuchte ich die wichtigsten Punkte für eine optimale Heizungsunterstützung zusammen zu tragen.

1.2 Aufbau der Diplomarbeit

Diese Diplomarbeit ist in acht Kapitel unterteilt. Nach einer kurzen Einleitung werden zunächst die Grundlagen der Solarthermie umfassend erläutert. Von der Sonne und ihrem Aufbau, bis hin zu den einzelnen Komponenten einer Solaranlage.

Nach dem Grundlagenteil werden Themen wie: „Optimale Berechnung, Dimensionierung, Auslegung, Anlagenplanung und Montage einer Solaranlage“ behandelt.

In den letzten Kapiteln wird die optimale Einbindung einer Solaranlage in ein Heizungssystem dargelegt. Ziel ist es den maximalen Ertrag einer solarthermischen Heizungsunterstützung zu erreichen damit der gewünschte Ertrag und somit auch die Wirtschaftlichkeit gegeben sind.

1.3 Zielsetzung

Ein Ziel dieser Diplomarbeit ist es die Bedeutung einer richtig geplanten, dimensionierten und ausgeführten Solaranlage darzulegen und die Verbesserungsmöglichkeiten zu erläutern.

Da sich eine solarthermische Anlage aus mehreren wichtigen Komponenten zusammensetzt und diese einzeln natürlich auch wiederum richtig dimensioniert und berechnet werden müssen, werden zunächst die Grundlagen, die Komponenten und deren Bedeutung erklärt.

Grundsätzlich ist das Hauptziel dieser Arbeit einen Weg für die Errichtung einer optimalen Heizungsunterstützung mittels einer solarthermischen Anlage zu erörtern.

2 Energiebedarf

2.1 Weltweite Entwicklung des Energiebedarfs

Als Energiebedarf (Weltenergiebedarf) wird die Menge an Primärenergie, die weltweit im Jahr benötigt wird bezeichnet. Dem von der BP veröffentlichten „*Statistical Review of World Energy 2014*“ (Abb. 2.2.1) kann man entnehmen, dass der weltweite Energiebedarf äquivalent in Mio. Tonnen Öl, im Jahr 2003 noch 9943,8 betrug. Im Jahr 2013 lag der Energiebedarf bereits bei 12730. Das ergibt bei einer Weltbevölkerung von ungefähr 7,2 Mrd. (*Pressemitteilung Stiftung Weltbevölkerung vom 20.12.2013*) einen pro Kopf Energieverbrauch von 1768 Kilogramm Öl.

Consumption by fuel*

Million tonnes oil equivalent	2012							2013						
	Oil	Natural gas	Coal	Nuclear energy	Hydro-electricity	Renew-ables	Total	Oil	Natural gas	Coal	Nuclear energy	Hydro-electricity	Renew-ables	Total
Total World	4138.9	2986.3	3723.7	559.9	833.6	240.8	12483.2	4185.1	3020.4	3826.7	563.2	855.8	279.3	12730.4
of which: OECD	2072.9	1423.1	1055.2	444.5	316.6	172.1	5484.4	2059.9	1444.4	1066.9	447.0	319.3	195.6	5533.1
Non-OECD	2066.0	1563.1	2668.5	115.4	517.0	68.7	6998.9	2125.1	1576.0	2759.8	116.1	536.5	83.7	7197.3
European Union	618.8	399.7	293.4	199.9	76.1	97.7	1685.5	605.2	394.3	285.4	198.5	81.9	110.6	1675.9
Former Soviet Union	206.9	529.6	183.8	61.1	54.5	0.7	1036.6	212.2	517.9	178.8	58.5	59.3	0.9	1027.7

Abb.2.1.1 Auszug aus dem Statistical Review of World Energy 2014 von BP

Die Autoren R. Stieglitz und V. Heinzl haben in Ihrem Lehrbuch „Thermische Solarenergie“ die weltweite Entwicklung des Energieverbrauchs in einem Diagramm dargestellt (Abb. 2.1.2). Hierbei beziehen sie sich auf das Bruttosozialprodukt (BSP) für verschiedene Länder pro Kopf und Jahr. Je weiter rechts von der *Mittelinie* ein Land eingetragen ist, umso effektiver wird die Energie eingesetzt. Für einen direkten Vergleich müsste die Zusammensetzung des BSP, die geographische Struktur der Länder, Witterungsbedingungen und ganz wesentlich der Grad der Industrialisierung betrachtet werden. Vergleicht man jedoch Länder wie die USA und Deutschland, beides ähnlich industrialisierte Länder, miteinander, so benötigen die Vereinigten Staaten nahezu die doppelte Primärenergiemenge zur Erreichung eines vergleichbaren Bruttosozialprodukts (*Lehrbuch, Stieglitz/Heinzl, Thermische Solaranlagen, S.2*).

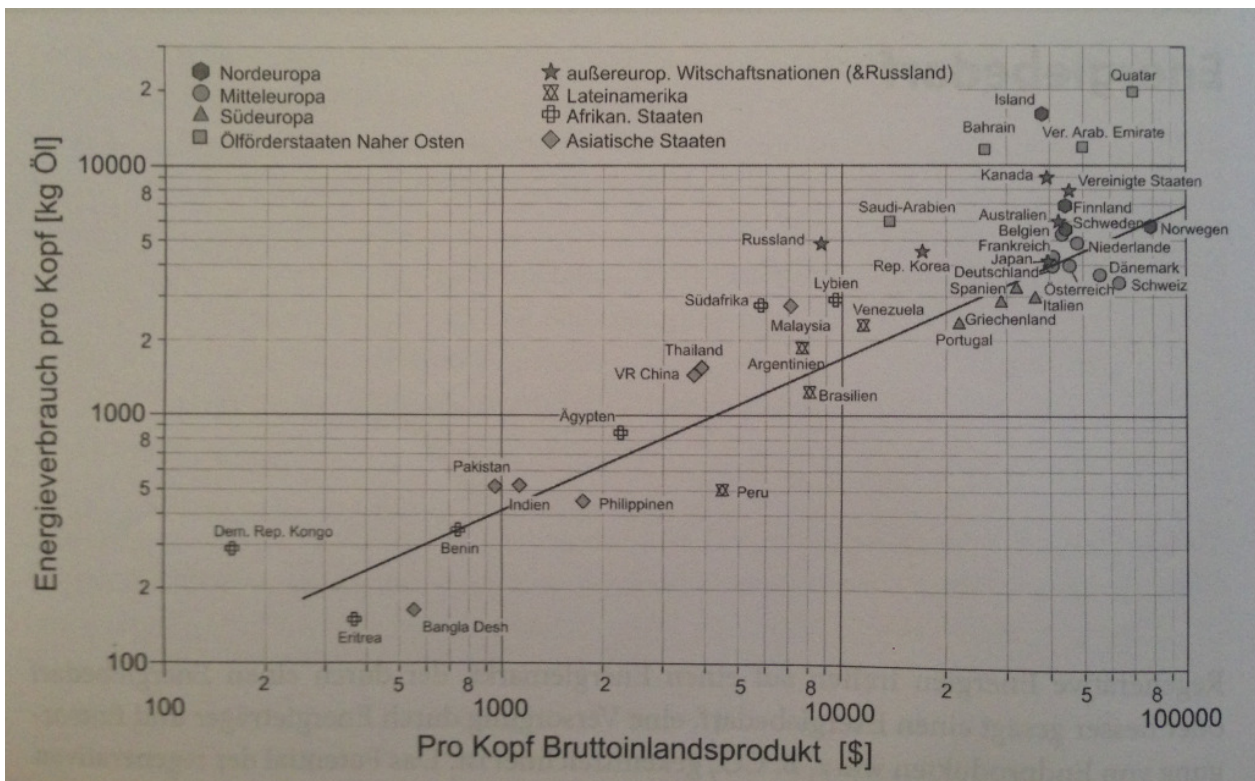


Abb.2.1.2 Jährlicher pro Kopf Energieverbrauch in Kilogramm Öl als Funktion des Bruttozialprodukts pro Kopf und Jahr in US-Dollar für verschiedene Länder (Weltbank 2009). (Lehrbuch Thermische Solarenergie – S. 2 – Abb. 1.1)

2.2 Auswirkungen des Energiebedarfs

Würde der gesamten Erdbbevölkerung ein Energieverbrauch entsprechend dem Pro-Kopf-Verbrauch der deutschen Bundesbürger Stand 2008 zukommen, wären die Reserven der fossilen Energieträger nach ca. 50 Jahren aufgebraucht. In der Tabelle 2.2.1 ist die Reichweite der wesentlich genutzten Energieträger Stand 2006 lt. Weltalmanach angegeben. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Verbrauch pro Kopf und Jahr noch mit einer Weltbevölkerung von ca. 5,6 Mrd. berechnet, diese Werte liegen heute wie bereits erwähnt deutlich höher.

Energieträger	Reserven (Mrd. t-SKE ^a)	Verbrauch/Jahr welt- weit (Mrd. t-SKE)	Reichweite [Jahre]	Vermutete Reserven [Jahre]
Steinkohle	2603	3.9	661	3434
Braunkohle	214	0.25	846	1059
Erdöl	214	5.28	40	
Erdgas	160	2.8	58	
Ölsande/-schiefer	20			
Summe fossile Brennstoffe	3211	7.2	446 ^b 141 ^c	
Uran (Mio-t)	$3.52 \cdot 10^6$	$4.14 \cdot 10^4$	85 5117 ^d	$3.63 \cdot 10^6$

^a Umrechnung in Steinkohleeinheiten für: Steinkohle 1 kg = 1.016 kg-SKE, Braunkohle 1 kg = 0.287 kg-SKE, Erdöl 1 kg = 1.454 kg-SKE, Erdgas 1 m³ = 1.083 kg-SKE
^b Pro Kopf Verbrauch weltweit 1.9 t-SKE
^c Umrechnung auf den Pro-Kopf-Verbrauch in Deutschland mit 6 t-SKE
^d Nutzung im Schnellen Brutreaktor mit 60facher Brennstoffnutzung

Tab.2.2.1 Reichweite der genutzten Energieträger Stand 2006 (Weltalmanach 2006)

Dieser zum größten Teil durch thermische Nutzung fossiler Energieträger erhöhte Bedarf führt dazu, dass die CO₂ Konzentration in der Atmosphäre stark anwächst. Das bedeutet außer der Begrenzung der Vorräte von fossilen Brennstoffen ist die Beschränkung am Ende des Brennstoffkreislaufs, d.h. die Freisetzung von CO₂ in die Atmosphäre, zu beachten. Somit sind in den letzten Jahren die sogenannten „Erneuerbaren Energien“ immer wichtiger geworden (*Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, Thermische Solaranlagen, S.4*).

3 Sonne

3.1 Einleitung Sonne

Unabhängig davon ob die Strahlung als thermische Energie genutzt oder elektrischer Strom erzeugt wird, die primäre Energiequelle ist die Sonne. Die solare Einstrahlung besitzt ein Spektrum, das vom ultravioletten über den sichtbaren bis zum infraroten Anteil reicht.

	Phys. Einheit	Wert
Durchmesser	m	$1.392 \cdot 10^9$
Oberfläche	m ²	$6.088 \cdot 10^{18}$
Massenverteilung	H ₂	0.75
	He	0.23
	Sonstige	0.02
Masse	kg	$3.3 \cdot 10^6 m_{\text{Erde}} = 1.99 \cdot 10^{30}$
Mittlere Dichte	kg/m ³	1.41
Kerntemperatur	°K	$1.6 \cdot 10^7$
Oberflächentemperatur	°K	5776
Druck im Kern	bar = 10^5 Pas	$4 \cdot 10^{11}$

Tab. 3.1.1 Eckdaten der Sonne (Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, Thermische Solaranlagen, S.24)

	Phys. Einheit	Wert
Rotation der Pole	Tage	34
Rotation des Äquators	Tage	25.4
Lebensalter	Jahre	$4.6 \cdot 10^9$
Lebenszeit (Voraussichtl. ½ Brenndauer)	Jahre	$5 \cdot 10^{10}$
Brennstoffverbrauch H ₂	Mt/s	600
Heliumerzeugung	Mt/s	596
Massendifferenz	Mt/s	4.3

Tab. 3.1.2 Eckdaten der Sonne (Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, Thermische Solaranlagen, S.24)

Die Tab. 3.1.1 und 3.1.2 listen einige charakteristische Daten der Sonne auf. Aus dem sekundlichen Massenverlust der Sonne ergibt sich über das Äquivalenzkriterium von Energie und Masse nach Einstein 1905 die von ihr erzeugte Leistung.

$$P_{\text{Sonne}} = \Delta m \cdot c^2$$

Wobei Δm der Massenverlust und c die Lichtgeschwindigkeit ($c = 2.997 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) ist. Zu der Massenverlustleistung addieren sich weitere Nuklearreaktionen auf die hier nicht näher eingegangen wird (*Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, Thermische Solaranlagen, S.24*).

3.2 Sonne als Energiequelle

Die Entfernung Erde-Sonne beträgt 149,5 Mio. km. Die Strahlen der Sonne benötigen mit Lichtgeschwindigkeit ca. 8 min, um diese Distanz zurückzulegen. Eine außerhalb der Erdatmosphäre senkrecht zur Sonnenstrahlung stehende Fläche wird mit einer Leistung von **1353 W/m²** bestrahlt. Dieser Wert wird als Solarkonstante D_0 bezeichnet. Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre, unserer Lufthülle, wird die Solarstrahlung teilweise absorbiert, gestreut und somit abgeschwächt. Dieses geschieht aber je nach Wellenlänge der Strahlung in unterschiedlichem Maß. Um alle Einstrahlungszustände definieren zu können, wurden sie wie folgt unterteilt:

AM – „Air Mass“ – Atmosphärische Massenzahl – gibt darüber Auskunft durch wie viel Luftmasse die Strahlung hindurch gegangen ist.

AM0 – gilt für die Strahlung im Weltraum, die sogenannte extraterrestrische Strahlung.

AM1 – bezeichnet die Strahlung, die senkrecht am Äquator auf Meereshöhe fällt.

AM1,5 – ist der Wert für eine terrestrische Strahlung, die unter einem Winkel von $41,5^\circ$ gegen den Horizont einfällt und damit eine 1,5fache größere Luftmasse durchstrahlt.

Der größte Nutzungsbereich der Sonnenenergie ist der Menge nach die Erwärmung der Erde, so dass in der oberflächennahen Schicht biologische Existenz in den bekannten Formen möglich ist, gefolgt von der Photosynthese der Algen und höheren Pflanzen. Die meisten Organismen, die Menschen inbegriffen, sind entweder direkt (als Pflanzenfresser) oder indirekt (als Fleischfresser) von der Sonnenenergie abhängig. Brennstoff sowie Baumaterial stammen ebenso daraus. Die Sonnenenergie ist weiterhin dafür verantwortlich, dass es in der Atmosphäre zu Luftdruckunterschieden kommt, diese wiederum führen zu Wind. Auch der Wasserkreislauf der Erde wird von der Sonnenenergie angetrieben (*Lehrbuch, Hadamovsky/Jones, Solarstrom Solarthermie, S.20*).

Neben diesen „natürlichen“ Effekten gibt es zunehmend eine technische Nutzung vor allem im Bereich Energieversorgung. Mit Hilfe der Solartechnik lässt sich die Sonnenenergie auf verschiedene Arten nutzen:

- Sonnenkollektoren wandeln die Strahlung in Wärme um
- Solarzellenerzeugen elektrischen Gleichstrom
- Sonnenwärmekraftwerke erzeugen mittels Wärme und Wasserdampf elektrischen Strom
- Aufwindkraftwerke erzeugen Strom mit Hilfe von heißer Luft
- Solarkoche oder Solaröfen erhitzen Speisen oder sterilisieren medizinisches Material

3.3 Aufbau der Sonne

Die Sonne ist eine leuchtende Kugel aus heißen Gasen und im Gegensatz zur Erde besitzt sie keine feste Masse. Mit einem Durchmesser von 1,4 Millionen Kilometern ist dieser Feuerball nicht nur der größte Himmelskörper, sondern auch der schwerste in unserer Galaxie.

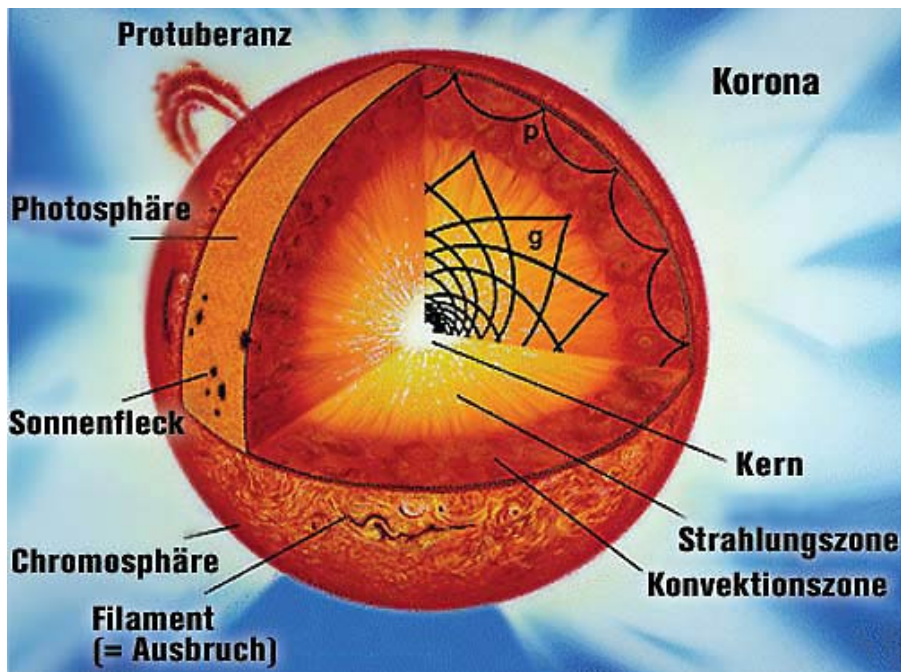


Abb. 3.3.1 Aufbau der Sonne (www.geo.de/28.06.2014)

„Im direkten Vergleich zur Sonne wirkt unsere Erde mit einem Durchmesser von 13.000 Kilometern fast winzig. Doch obwohl die Sonne 330.000 Mal schwerer ist als die Erde, ist sie nicht träge. In 25 Tagen dreht sich die Sonne einmal um sich selbst und bewegt sich gleichzeitig mit einem enormen Tempo durch die Milchstraße. Mit ungefähr 220 km/sec bewegt sich die Sonne um das Zentrum der Galaxie. In ihrem Inneren herrschen gewaltige Temperaturen von 15 Millionen Grad Celsius und der Druck ist 200 Milliarden Mal höher als der auf der Erde. Die Sonne besteht aus mehreren Schichten und Schalen. Der Kern der Sonne hat einen Durchmesser von etwa 175.000 km und wirkt wie ein Fusionsreaktor. Bei einer Temperatur von 15 Milliarden Grad Celsius und der zehnfachen Dichte von Blei findet hier die Kernfusion statt.“

Aus vier Wasserstoffatomkernen entsteht ein schwerer Heliumkern. Bei dieser Verschmelzung geht Masse verloren, die in Energie umgewandelt wird. In nur einer Sekunde wandelt die Sonne dadurch ungefähr fünf Millionen Tonnen Materie in Energie um, die sie in Form von Wärme und Licht in den Raum abgibt. Aus diesem Masseverlust stammen also die wichtigsten Eigenschaften der Sonne: Licht und Wärme. Diese durch die Sonne zur Verfügung gestellte Energie kann unter anderem mittels solarthermischer Systeme genutzt werden.“ (<http://www.geo.de/GEOlino/natur/aufbau-der-sonne-1582.html>/15.07.2014)

4 Solarthermische Systeme

4.1 Grundlagen der Solarthermie

Unter Solarthermie versteht man die Umwandlung der Sonnenenergie in thermische Energie. Diese Umwandlung kann mit Hilfe sogenannter Kollektoren erreicht werden. Die Energie kann auf unterschiedliche Arten genutzt werden. Eine davon ist die Anwendung im Gebäudebereich. Bei dieser Anwendung wird zwischen aktiven und passiven Nutzungsweisen unterschieden (*Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, Thermische Solaranlagen, S.84*).

4.2 Aktive und passive Solarthermie

Als aktives System wird ein Gesamtkomplex bezeichnet, der aus maschinentechnischen Einzelteilen aufgebaut ist. Dieser beinhaltet einen Wärmetransport mit Hilfe eines Wärmeträgermediums von der Stelle der Energieaufnahme, der als Kollektor bezeichnet wird, zur Energieabgabestelle, dem eigentlichen Energienutzer (Abb. 4.2.1) (*Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, Thermische Solaranlagen, S.84*).

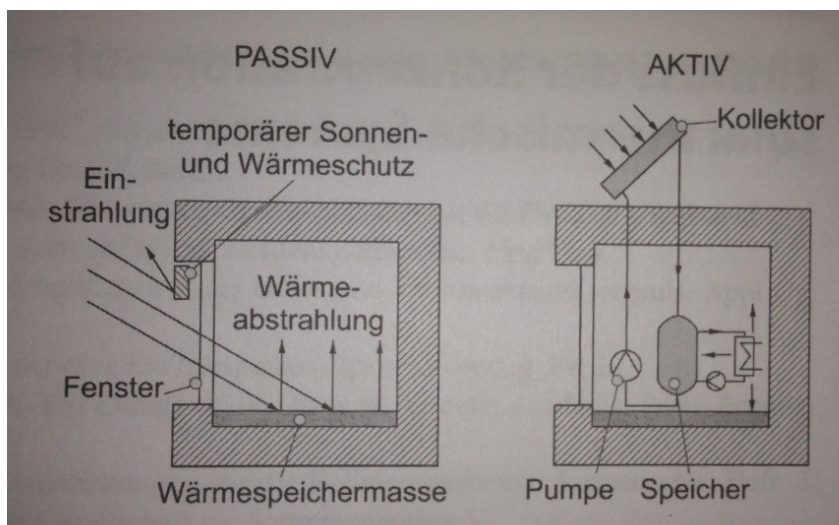


Abb. 4.2.1 Aktive und passive Solarthermie (*Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, Thermische Solaranlagen, S.84*)

Zum Schwankungsausgleich in der Bereitstellung der Energie durch den Kollektor, werden oftmals Pufferspeicher zwischengeschaltet.

Stieglitz und Heinzel beschreiben in Ihrem Lehrbuch „Thermische Solaranlagen“ die Verknüpfung von Maschinenelementen wie folgt:

„Die Verknüpfung von Maschinenelementen zwischen dem Kollektor und der Energienutzer (In Form von Wärme oder Kälte) bedingt Rohrleitungsnetze (Druckverlust, Wärmeverlust), Hocheffizienzumwälzpumpen (Verbrauch elektrischer Energie), Speicher (naturkonvektiver Wärmetausch und Mischungsverluste), Wärmetauscher (Übertragungsverluste bei unterschiedlichen Medien) sowie Regel- und oder Steuerungseinrichtungen (Zeitverhalten und elektr. Energieverbrauch). Sofern keine Naturkonvektion oder integrierte Kollektor-Speicher-Systeme eingesetzt werden (können), macht die Umwälzung der Wärmeträger einen nicht zu vernachlässigenden Energieaufwand erforderlich. Hier ist eine detaillierte Systemberechnung aller Komponenten bis hin zum Energienutzer erforderlich, damit ein effizientes System angepasst an das Nutzungsverhalten ermittelt werden kann“

(wird genauer in Kapitel 5 behandelt) (Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, *Thermische Solaranlagen*, S.84).

Die Passive Nutzung von Sonnenenergie bezieht sich ganz und gar auf Gebäude, wobei nur bauliche Mittel zur Solarenergienutzung zum Einsatz kommen. Das Prinzip ist das Sammeln der Sonnenenergie durch entsprechend orientierte Fenster oder „transparente Wärmedämmungen“, verbunden mit einem Wärmeschutz sowie die Nutzung der Gebäudemasse als Wärmespeicher.

Wird auf Abschattungseinrichtungen als Überhitzungsschutz im Sommer verzichtet, ist meist keine Hilfsenergie zum Betrieb solcher Systeme notwendig. In unserem Klima ist ein baulich einwandfreier Wärmeschutz Voraussetzung für eine zweckmäßige „passive“ wie auch „aktive“ Nutzung von Sonnenenergie. Die Abb. 4.2.1 stellt schematisch die Differenz zwischen einer aktiven und einer passiven Nutzung der Sonnenenergie entsprechend der im vorangegangenen definierten Grundsätze dar (Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, *Thermische Solaranlagen*, S.84).

Aktive Systeme werden weiterhin in solche mit und ohne Konzentration unterschieden. Durch die Konzentration mittels Spiegel erhöht sich die Einstrahlungsleistung am Strahlungsempfänger, dem sogenannten Absorber. Es ist somit möglich höhere flächenspezifische Wärmeverluste am Absorber abzudecken. Anders ausgedrückt der Absorber kann mit höheren Temperaturen betrieben werden. (*Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, Thermische Solaranlagen, S.85*)

In der Solartechnik ist ein Solarabsorber (Absorber), ein Bestandteil eines thermischen Solarkollektors. Er dient zur Absorption der Energie verschiedener Anteile der Sonnenstrahlung. Die in den Solarkollektoren enthaltenen Absorber bestehen in der Regel aus einem oder mehreren Absorberblechen aus Aluminium oder Kupfer. Mit Hilfe einer selektiven Beschichtung erwärmt sich dieser Absorber im Sonnenlicht. Diese Wärmeenergie wird durch eine sich im Absorber befindliche „Solarflüssigkeit“ aufgenommen und zu einem Nutzer bzw. einem Speicher (Pufferspeicher) transportiert. Der Rest des Solarkollektors dient als dient zur Wärmeisolation des Absorbers, um Wärmeverluste zu vermeiden und eine höhere Arbeitstemperatur zu ermöglichen. Die Anwendungen im Gebäudebereich verlangen in der Regel die Bereitstellung der Energie bei Temperaturen, die sich nur wenig von den Umgebungstemperaturen unterscheiden. Solche Systeme benötigen daher meist keine Konzentration. Die Erzeugung von industrieller Prozesswärme mit hohen Prozesstemperaturen ist dagegen nur mit konzentrierenden Kollektorsystemen zu erreichen. Mit steigender Temperaturanforderung wächst auch die Spiegelfläche im Verhältnis zum Absorber, das bedeutet, dass das Konzentrationsverhältnis zunimmt. Hochkonzentrierende Kollektoren werden häufig auch zur Stromerzeugung eingesetzt. Bezüglich der Kollektorkonstruktion kann dann nicht mehr zwischen thermischer und thermisch/mechanischer Solarenergienutzung unterschieden werden. (*Lehrbuch, Stieglitz/Heinzel, Thermische Solaranlagen, S.85*)

4.3 Kollektoren

4.3.1 Kollektorarten und typische Einsatztemperaturen

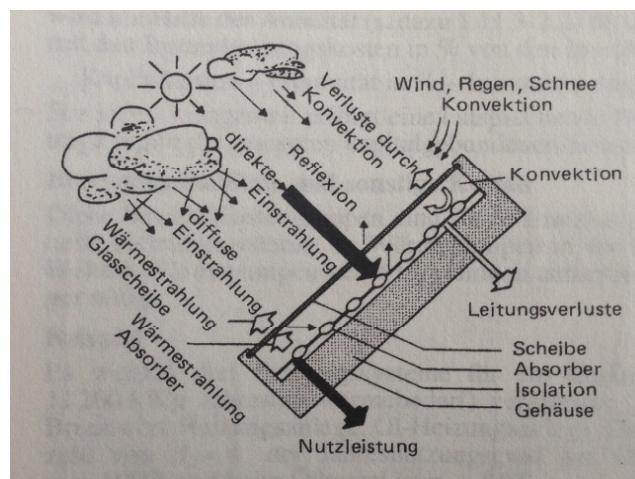
Die Sonnenkollektoren werden ihrer Bauart nach unterschieden in:

- Flachkollektor
- Vakuumröhrenkollektor
- Absorber für Schwimmbadanlagen
- Kollektorsysteme mit integriertem Speicher und transparenter Abdeckung
- Luftkollektor

Der beidseitig wirkende Kollektor sowie der Luftkollektor werden nur in geringem Umfang eingesetzt.

Der **Flachkollektor** besteht aus einer selektiv beschichteten Metallplatte, der Absorberfläche, mit integrierten Rohren. Eine Wärmeträgerflüssigkeit fließt durch die Rohre, nimmt die Energie der Sonne auf und leitet diese weiter zum Heizsystem. Zur Vermeidung von Wärmeverlusten ist die Rückseite des Absorbers gedämmt, und die Oberfläche mit einer ein- oder zweischichtigen Glas- oder einer Kunststoffplatte abgedeckt. (siehe Abb. 4.3.1.1) Durch Evakuieren der Luft kann der konvektive Wärmetausch und Leitungsverluste zwischen Absorber und Oberflächenabdeckung weitgehend vermieden werden. In so einem Vakuum-Flachkollektor muss das Vakuum jährlich überprüft und gegebenenfalls mittels einer Vakuumpumpe erneuert werden (*Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, ab S.612*).

Abb.4.3.1.1 Querschnitt durch einen Flachkollektor (RSS, S.612)



Flachkollektoren lassen sich in die Dachhaut einpassen oder mittels Montagegerüsten, z.B. auf dem Dach, montieren (siehe Abb. 4.3.1.2). Im Sommer erreicht die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit maximale Werte von bis zu 100°C. Die Kosten für solch einen Kollektor liegen je nach Hersteller bei 300 bis 650 €/m². Ein Flachkollektor liefert im Durchschnitt ca. 400-450 kWh/m² solare Energie pro Jahr.

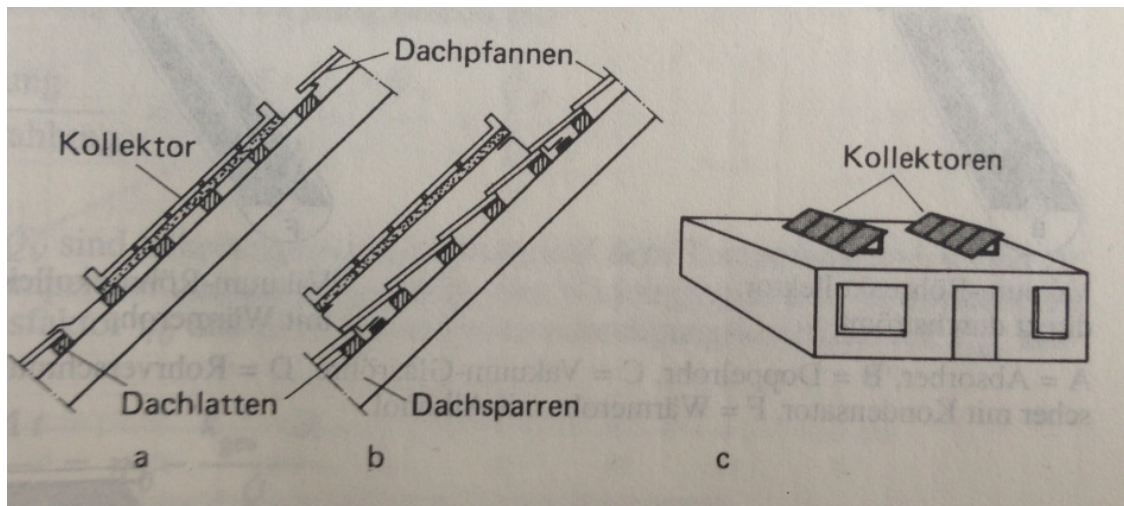


Abb. 4.3.1.2 Kollektoreinbau, a) Dachintegration, b) Aufdachmontage, c) Flachdachmontage (RSS, S613)

Beim **Vakuum-Röhrenkollektor** befindet sich die Absorberfläche in einem evakuierten Glasrohr. Der Wärmetransport kann entweder direkt erfolgen, indem die Wärmeträgerflüssigkeit den Absorber durchströmt (Abb. 4.3.1.3) oder indirekt mit einem Wärmerohr.

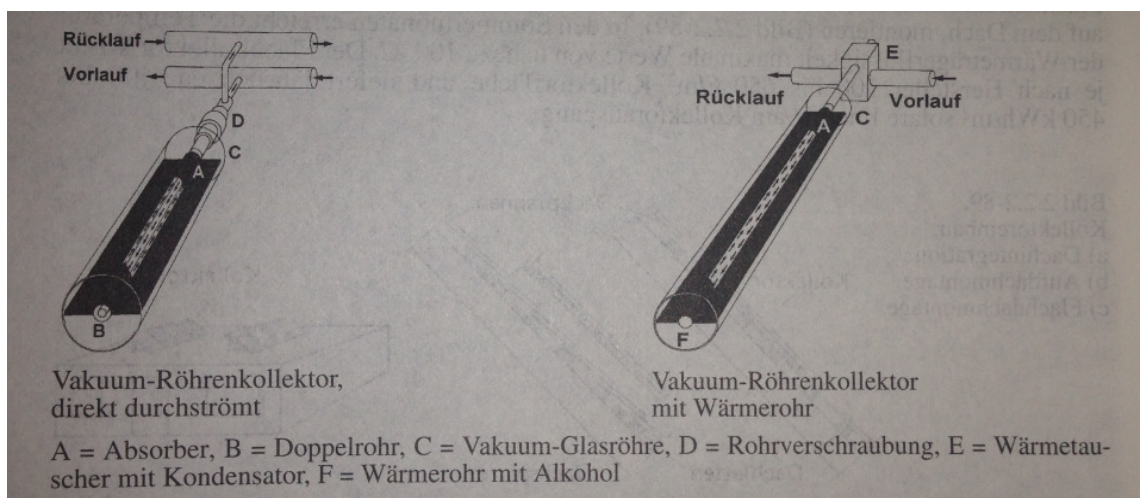


Abb. 4.3.1.3 Vakuum-Röhrenkollektor (RSS, S.614)

Beim Wärmerohrprinzip wird Wärme mittels Kältemittel vom Absorber zum Wärmetauscher am oberen Kollektorende transportiert. Das Kältemittel verdampft daraufhin durch die Wärmeaufnahme und steigt im Wärmerohr auf. Die, den Wärmetauscher durchströmende, Wärmeträgerflüssigkeit nimmt die Wärme auf und das Kältemittel kondensiert. Durch das gegebene Kollektorgefälle, fließt das verflüssigte Kältemittel wieder nach unten. Die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit kann hierbei bis zu 250 °C erreichen. Der Röhrenkollektor besitzt hohe Wirkungsgrade. Die Kosten liegen bei ca. 600 bis 1000 €/m² und die jährliche Ausbeute liegt bei ca. 500 kWh/m² solare Energie am Kollektorausgang. (Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, ab S.612)

Absorber für Schwimmbadanlagen werden im RSS kurz wie folgt beschrieben:

„Absorber für Schwimmbadanlagen werden eingesetzt, um Frei- und Hallenbäder zu versorgen. Die Wassertemperatur im Schwimmbecken wird um 2 bis 4 K gegenüber Anlagen ohne Beheizung der Schwimmbecken angehoben. Hierbei reichen mittlere Absorbertemperaturen von 25-35 °C aus. Auf eine Dämmung der Absorberflächen wird verzichtet. Die Absorber werden als Kunststoffmatten oder als Rohrsysteme (Abb. 4.3.1.4) hauptsächlich aus Polypropylen (PP) und Ethylen-Propylen-Dien-Monomeren (EPDM) gefertigt. Die Absorber kosten ca. 35 €/m² und liefern jährlich ca. 250kWh/m² solare Energie am Kollektorausgang.“ (Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, ab S.612)

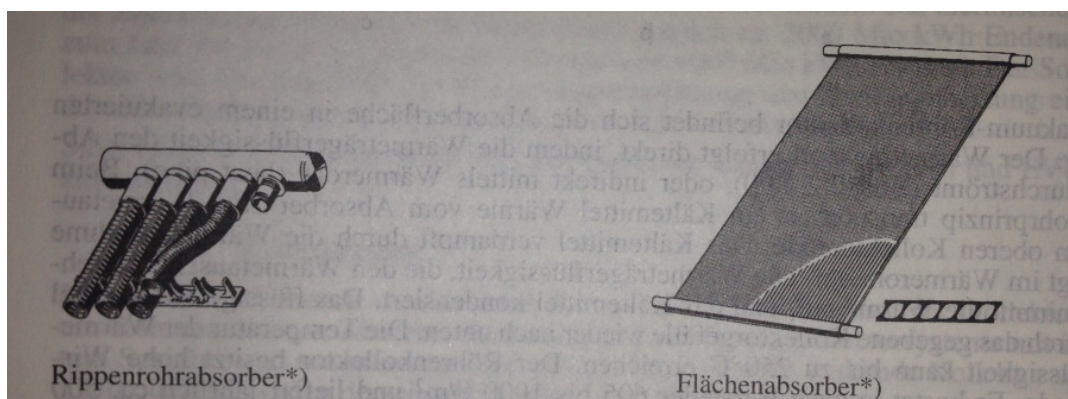


Abb. 4.3.1.4 Absorber für Schwimmbadanlagen (RSS, S.614)

Im **Speicherkollektor** (Abb. 4.3.1.5) findet eine Direkterwärmung des Wassers statt und dieses wird dann im Kollektor gespeichert. Bei der Entnahme von Warmwasser strömt von unten Kaltwasser nach. Ist eine Nacherwärmung erforderlich so erfolgt diese mittels Durchlauferhitzer. Kollektoren mit transparenter Wärmedämmung reduzieren den Wärmeverlust über die Deckfläche des Kollektors. Der doppelseitig wirkende Kollektor ist mit Reflektoren versehen, die die Sonnenstrahlen auf die Rückseite der Absorberflächen reflektieren. Eine elektrische Frostschutzheizung schützt den Kollektor im Winter vor dem Einfrieren. Um Speicherkollektoren in die Dachhaut einbauen zu können, müssen die statischen Voraussetzungen für die Aufnahme der hohen Belastung gegeben sein. Die große Einbautiefe ist zu berücksichtigen. Die Kosten und Energiewerte sind vergleichbar mit denen einer Flachkollektoranlage.

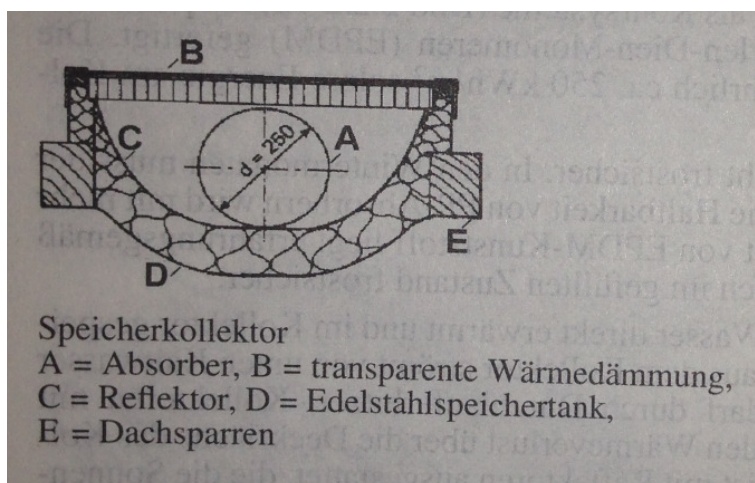


Abb. 4.3.1.5 Speicherkollektor (RSS, S.614)

Luftkollektoren (siehe Abb. 4.3.1.6) werden nur in geringem Ausmaß eingesetzt. Luftheizsysteme auf solarer Basis nutzen die Kollektoren um die Außenluft direkt zu erwärmen. Die erwärmte Luft wird über Kanalsysteme in das Gebäude geleitet. In Kombination mit mechanischen Wohnraumlüftungen und Luftheizanlagen wird der Luftkollektor zukünftig verstärkt eingesetzt werden können. Aufgrund der verhältnismäßig niedrigen Raumtemperatur von 20 °C lässt sich der Luftkollektor während der Heizperiode relativ günstig betreiben. Luftkollektoren werden in der Landwirtschaft zur Trocknung von Heu, Getreide, Saatgut usw. eingesetzt.

Die Kosten für einen Luftkollektor liegen bei ca. 150 bis 175 €/m² und er liefert jährlich ca. 100 bis 150 kWh/m² im landwirtschaftlichen Einsatz und bei der Gebäudeheizung bis zu 500 kWh/m² solare Energie am Kollektorausgang.

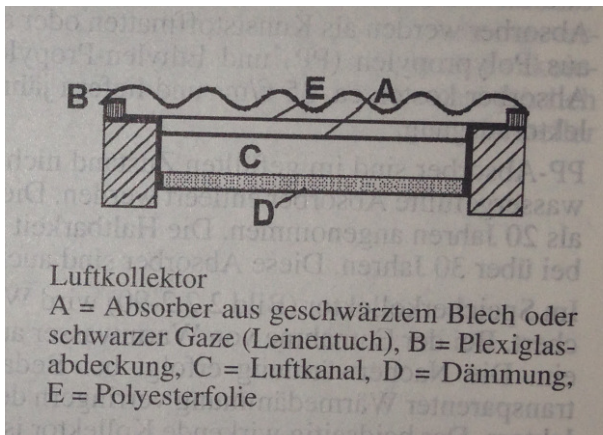


Abb. 4.3.1.6 Luftkollektor (RSS, S.614)

Für alle Solarkollektoren gibt es bestimmte Auflagen und Normen, diese werden im RSS wie folgt beschrieben:

„Die Solarkollektoren werden für eine Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren ausgelegt. Vorschriften über Sicherheit, Prüfung und Wirkungsgrade befinden sich in EN 12976 und ENV 12977 für thermische Solaranlagen und ihre Bauteile sind Anforderungen und Prüfverfahren bezüglich Qualität und thermische Leistungsfähigkeit seit 2001 festgeschrieben worden.“ (Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, ab S.612 - 614)

4.4 Wirkungsgrad

Die effektive Leistung eines Kollektors hängt von vielen Einflüssen ab. Die Abb. 4.4.1 zeigt die unterschiedlichen Abläufe und Prozesse am und im Kollektor. Da Witterungsumstände sowie äußere Einflüsse nicht immer gleich sein können, ist daher auch die Kollektorleistung sehr unterschiedlich und kann nicht exakt bestimmt werden.

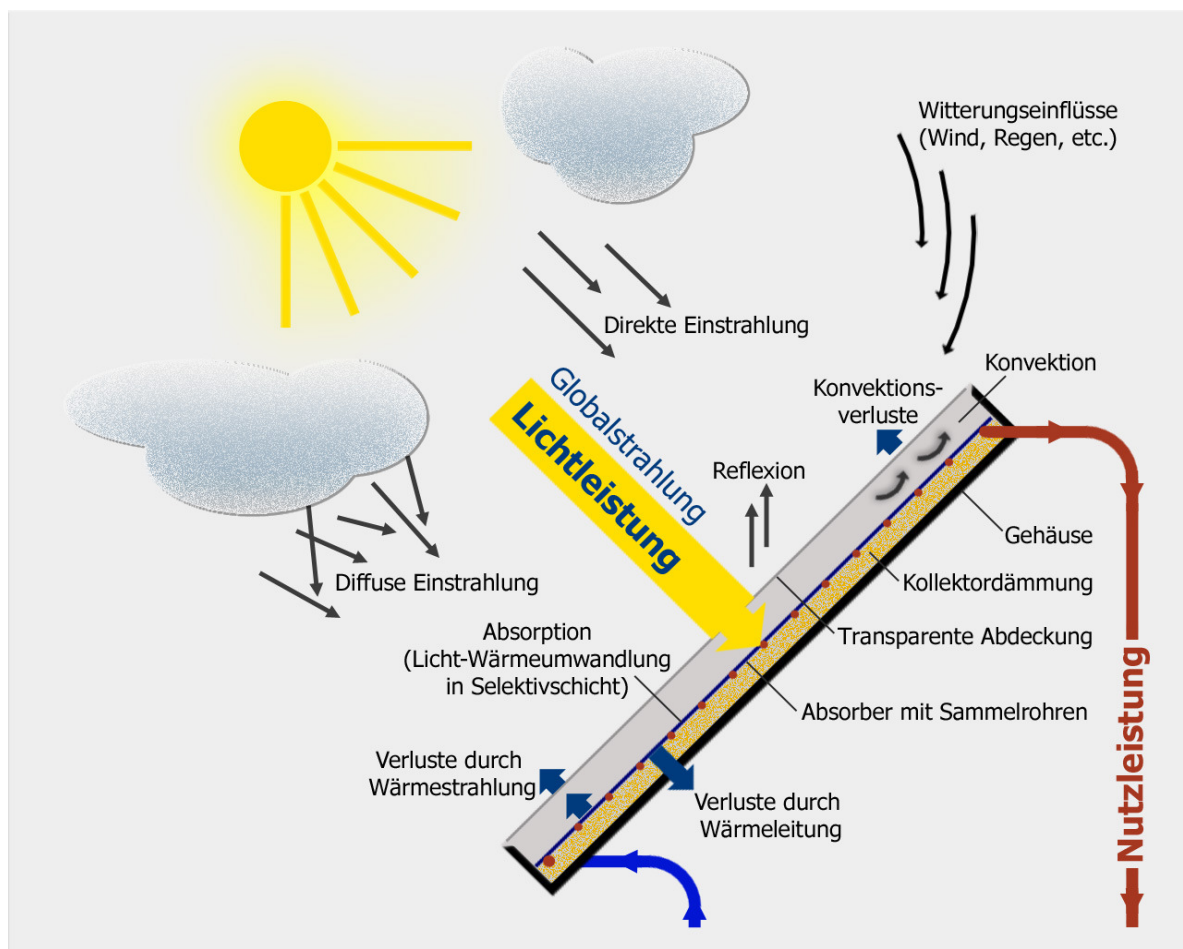


Abb. 4.4.1 Energiegewinnung im Sonnenkollektor (www.kollektorleistung.de/28.06.2014)

Auf Grund der verschiedenen von den Herstellern verwendeten Bauarten und Materialien haben Solarkollektoren sowohl unterschiedliche Charakteristiken bei der Umwandlung der Sonnenstrahlen in Wärme als auch differierende Einbußen durch Wärmestrahlung, Wärmeübertragung und Konvektion. Diese Einbußen werden unterteilt in optische und thermische Verluste des Kollektors. In genormten Kollektortests von anerkannten Prüfinstituten, werden den jeweiligen Kollektoren spezielle Koeffizienten zugeteilt.

„Mit diesen Koeffizienten ist es schließlich möglich, mittels einer Kollektorgleichung den Kollektorwirkungsgrad zu berechnen, der das prozentuale Verhältnis der zur Verfügung stehenden Lichtleistung und der tatsächlichen Nutzleistung angibt.“ (<http://www.kollektorleistung.de/Kollektorgleichung.html>/22.07.2014)

4.4.1 Optischer Wirkungsgrad:

In einem Artikel der Solarbayer GmbH wird der optische Wirkungsgrad wie folgt veranschaulicht:

„Der Absorptionskoeffizient α “

Eine optimale Lichtabsorption hätte eine schwarze Platte, auf die das Sonnenlicht direkt scheinen kann, da diese das Sonnenlicht nahezu vollständig in Wärme umwandelt, wohin gehend z.B. ein Spiegel nahezu kalt bleibt, da dieser das meiste Licht reflektiert. Allerdings hat ein schwarzer Absorber wiederum einen hohen Emissionsgrad, da er selbst viel von der umgewandelten Wärme in Form von Wärmestrahlung abgibt (Emissionsverluste). Zur Reduzierung dieser Wärmeabstrahlung wurden spezielle Absorber mit hochselektiven Beschichtungen entwickelt, welche einen hohen Absorptionsgrad aufweisen, bei vergleichsweise sehr geringen Emissionen. Der Absorptionskoeffizient α ist ein Maß der Umwandlung des Lichts in Wärme am Absorber.“

„Der Transmissionskoeffizient τ “

Um den Kollektor vor Regen und anderen schädigenden Einflüssen von außen zu schützen benötigt man an der Oberseite eine Abdeckung. Diese muss natürlich möglichst lichtdurchlässig sein. Daher wird als Abdeckung in der Regel ein spezielles, eisenarmes Solarglas verwendet, welches hochtransparent ist und zudem hohen Belastungen durch Hagel und Schnee standhält. Durch Reflexion des Sonnenlichts und durch Lichtverluste beim Durchdringen der Glasscheibe erreicht nur ein Teil der Lichtstrahlung die Oberfläche des Absorbers. Dieser Anteil des noch auftreffenden Lichtes wird durch den Transmissionskoeffizienten τ angegeben.

Aus diesen beiden Werten, dem Absorptionskoeffizienten α und dem Transmissionskoeffizienten τ , ergibt sich die Formel zur Berechnung des optischen Wirkungsgrades η_0 .“

Kollektorgleichung:

$$\eta_0 = \tau \cdot \alpha$$

4.5 Solarflüssigkeit

Die Solarflüssigkeit, auch Wärmeträgerflüssigkeit genannt, dient dazu die Wärme vom Kollektor zum Verbraucher bzw. Speicher zu transportieren. In Hitzeperioden kann es durchaus zur Verdampfung der Solarflüssigkeit kommen, diesen Zustand nennt man Stagnation.

4.5.1 Propylenglykol-Wasser-Lösung

In den meisten Fällen ist die Wärmeträgerflüssigkeit eine Wasser-Propylenglykol-Lösung. Durch ihren niedrigen Gefrierpunkt, wird die Anlage vor Frostschäden geschützt. Der Siedepunkt der Lösung ist bedeutend höher als bei reinem Wasser. Dies führt besonders in Drucksystemen bei Hitzeperioden bzw. bei ungenügender Wärmeabnahme zu hohen Temperaturen (über 200 °C) und Drücken im Solar-kreislauf. Das Leitungssystem und die Dichtungen müssen speziell dafür ausgelegt sein. Sollte der Fall eintreten, dass die Solarflüssigkeit bei hohen Temperaturen in den dampfförmigen Zustand übergeht, führt dies zum Anlagenstillstand und die Stagnationstemperatur wird erreicht. Der Druck wird dann zunächst von einem sogenannten Membranausdehnungsgefäß (MAG) abgefangen und ab einer gewissen Grenze (meist 6 bar) wird Solarflüssigkeit, anders als bei einer gewöhnlichen Heizungsanlage, bei der das Heizungswasser bei Drucküberschreitung in das Kanalsystem abgeleitet werden darf, über das Sicherheitsventil in einen Auffangbehälter abgelassen. Da die ständige Änderung des Aggregatzustands die

Solarflüssigkeit altern lässt, sollte der Zustand der Lösung bei regelmäßigen Wartungen überprüft und gegebenenfalls die Flüssigkeit erneuert werden. Die heute verwendeten Mischungen sind ungiftig und chemisch vergleichsweise stabil. (TU-Braunschweig, Artikel „Thermische Solaranlagen“, S.6)

Je höher der Glykolanteil in der Lösung ist, umso tiefere Temperaturen kann der Solarkreislauf ohne Frostschäden überstehen. Es sollte jedoch eine Konzentration von über 50 % vermieden werden, da sich zu einem die spezifische Wärmekapazität der Lösung vermindert und zum anderen sich die Viskosität und damit die erforderliche Pumpenarbeit und Stromaufnahme erhöhen. Schlussendlich sinkt damit der Wirkungsgrad der Anlage. In Ausnahmefällen kann es zu Anlaufschwierigkeiten der Pumpe kommen. Ist die Anlage sehr tiefen Temperaturen ausgesetzt, so entsteht bei ausreichendem Glykolanteil ein Wassereisgemisch, welches die Leitungen aber nicht zerstört. (TU-Braunschweig, Artikel „Thermische Solaranlagen“, S.6)

4.5.2 Reinwasser

Es gibt Solaranlagen, die direkt mit Wasser (genauer Reinwasser) als Solarflüssigkeit arbeiten. Dabei muss der Reinheitsgrad an und für sich nicht hoch sein. Gewöhnliches Trinkwasser oder gefiltertes Regenwasser reichen völlig aus. Bei direktdurchflossenen Röhrenkollektoren mit geschlossenen Solarkreisläufen bei denen eine Restmenge von Licht auf das Wasser trifft werden manchmal chemische Zusätze verwendet die eine Algenbildung im Wasser hemmen. Bei Reinwassersolaranlagen muss ein Wärmetauscher zwischen Solarkreislauf und Speicher nicht zwingend vorhanden sein. Dieser Umstand erleichtert auch die Einbindung einer in bestehende Heizungssysteme. Es ist lediglich im Winter sicherzustellen, dass die Kollektoren nicht einfrieren können. Dazu muss die Außentemperatur überwacht und bei Bedarf wärmeres Wasser durch den Kollektor geleitet werden. Der hierbei erforderliche Energiebedarf (Pumpe, Warmwasser) kann, mit verschiedenen Einsparungen wie z. B. dem besseren Wirkungsgrad durch den Verzicht auf einen Frostschutzzusatz, aufgerechnet werden, da die höhere Wärmeka-

pazität und die geringere Viskosität von reinem Wasser weniger Pumpenarbeit zur Folge hat.

Nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten auch „Drain-back-Systeme“, bei denen der Solarkreislauf automatisch nur dann mit Wasser befüllt wird, wenn die Kollektoren ausreichend erwärmt wurden und der Speicher noch Kapazitäten zur Wärmeaufnahme hat. Wird die Pumpe durch die automatische Regelung abgeschaltet, läuft das Wasser in einen Auffangbehälter. Unter Grenzbedingungen, während Hitzeperioden, treten im Solarkreislauf niedrigere Temperaturen auf, da Reinwasser einen geringeren Siedepunkt hat, als eine Propylenglykol-Wasser-Lösung. Damit ist es auch besonders in drucklosen Systemen möglich Leitungen, Pumpen und andere Komponenten aus Polypropylen zu verwenden. (*TU-Braunschweig, Artikel „Thermische Solaranlagen“, S.6*)

5 Solarthermische Systeme zur Heizungsunterstützung

Solarthermische Systeme werden in zahlreichen Fällen zur Heizungsunterstützung eingesetzt. In diesem Systemkonzept, das oft auch als teilsolare Raumheizung bezeichnet wird, speist eine größer dimensionierte Kollektoranlage Wärme in die dafür entsprechend ausgelegten Energiespeicher (Pufferspeicher), die in der Lage sind, die aufgenommene Wärme über einige Stunden bzw. einige Tage zu speichern. Die solare Energie kann zur Unterstützung der Raumbeheizung genutzt werden. Jedoch sind von der Planung bis zur Ausführung und dem Betrieb, einige sehr wichtige Aspekte zu beachten. Es passiert nicht selten, dass eine Anlage falsch geplant, dimensioniert oder ausgeführt wurde. In den folgenden Kapiteln wird die optimale Planung, Auslegung, Dimensionierung und Ausführung von heizungsunterstützenden solarthermischen Anlagen beschrieben.

5.1 Erstellung des Grundkonzepts

Bei der Erstellung eines Grundkonzepts sind folgende Punkte zu behandeln:

- Handelt es sich um einen Neubau oder Altbau
- Ist die Jährliche Einstrahlung zufriedenstellend
- Welche Montage-Variante kann zur Ausführung kommen
- Wie hoch ist der Energiebedarf des Gebäudes
- Wie hoch ist der Warmwasserverbrauch

5.1.1 Neubau/Altbau

Mit dem Begriff „Altbau“ sind alle bestehenden Häuser oder Gebäude gemeint. Man könnte auch von „Altbau-Sanierung“ sprechen. Bei den meisten bestehenden Objekten ist die Dachfläche für eine nachträgliche Montage einer Solaranlage ausreichend. Dazu kommt, dass es Solarkollektoren in vielen verschiedenen Größen und Ausführungen gibt. Somit lassen Sie sich exakt an das Dach anpassen um die maximale Fläche verbauen zu können (*Thermische Solaranlagen, E. Stempel, S.12-17*).



Abb. 5.1.1.1 Thermische Solaranlage im Altbau (www.baumgart-cad-technik.de/05.07.2014)

In der Abb. 5.1.1.1 kann man gut erkennen, dass es bei der Aufstellung der Kollektoren so gut wie keine Grenzen gibt. Zwingend bei der Platzierung der Kollektoren zu beachten ist die mögliche Verschattung durch Gebäude, Bäume oder hohe Bauwerke (Abb. 5.1.1.2 bzw. Abb. 5.1.1.3). Sollte dieser Aspekt nicht berücksichtigt werden, kann das den Wirkungsgrad und somit den Ertrag der Anlage verschlechtern. Wenn eine Verschattung nicht zu verhindern ist, sollte man die Sinnhaftigkeit der Anlage überdenken um unnötige Kosten zu vermeiden. Dies gilt sowohl bei Alt- als auch bei Neubauten. Hier ist weniger oft mehr.



Abb. 5.1.1.2 Verschattung durch ein Gebäude (www.photovoltaikeforum.com/05.07.2014)



Abb. 5.1.1.3 Verschattung durch Bäume (www.ibc-blog.de/05.07.2014)

Im Zuge einer Sanierung lassen sich Solaranlagen auch Kostensparend verwirklichen, wie z.B. in der Abb. 5.1.1.4 dargestellt. Hier wurde im Zuge einer Dachsanierung eine Solarthermische Anlage errichtet. Es wurde ein Inndachsystem gewählt. Dadurch konnten zahlreiche Dachziegel eingespart werden da sie durch Solarkollektoren ersetzt wurden.

Bei Altbauten ist des Weiteren noch die Leitungsführung von Kollektor zur Entnahmestelle (meist ein Pufferspeicher) zu beachten. Erforderliche Durchbrüche und Schlitzte in den Wänden sind nicht auszuschließen. Bei Neubauten lässt sich dies einfacher verwirklichen da die Leitungsführung bereits in die Planung einfließt.



Abb. 5.1.1.4 Thermische Solaranlage im Altbau - Dachsanierung (www.energie-tipp.de/05.07.2014)

5.1.2 Jährliche Einstrahlung

Aufgrund der in Europa und auch der ganzen Welt unterschiedlich starken solaren Einstrahlung (Abb. 5.1.2.1), macht der Einbau einer thermischen Solaranlage nicht immer einen Sinn. Hier gilt es die Wirtschaftlichkeit sowie die Amortisationszeit zu beachten, dies wird in den noch folgenden Kapiteln genauer behandelt.

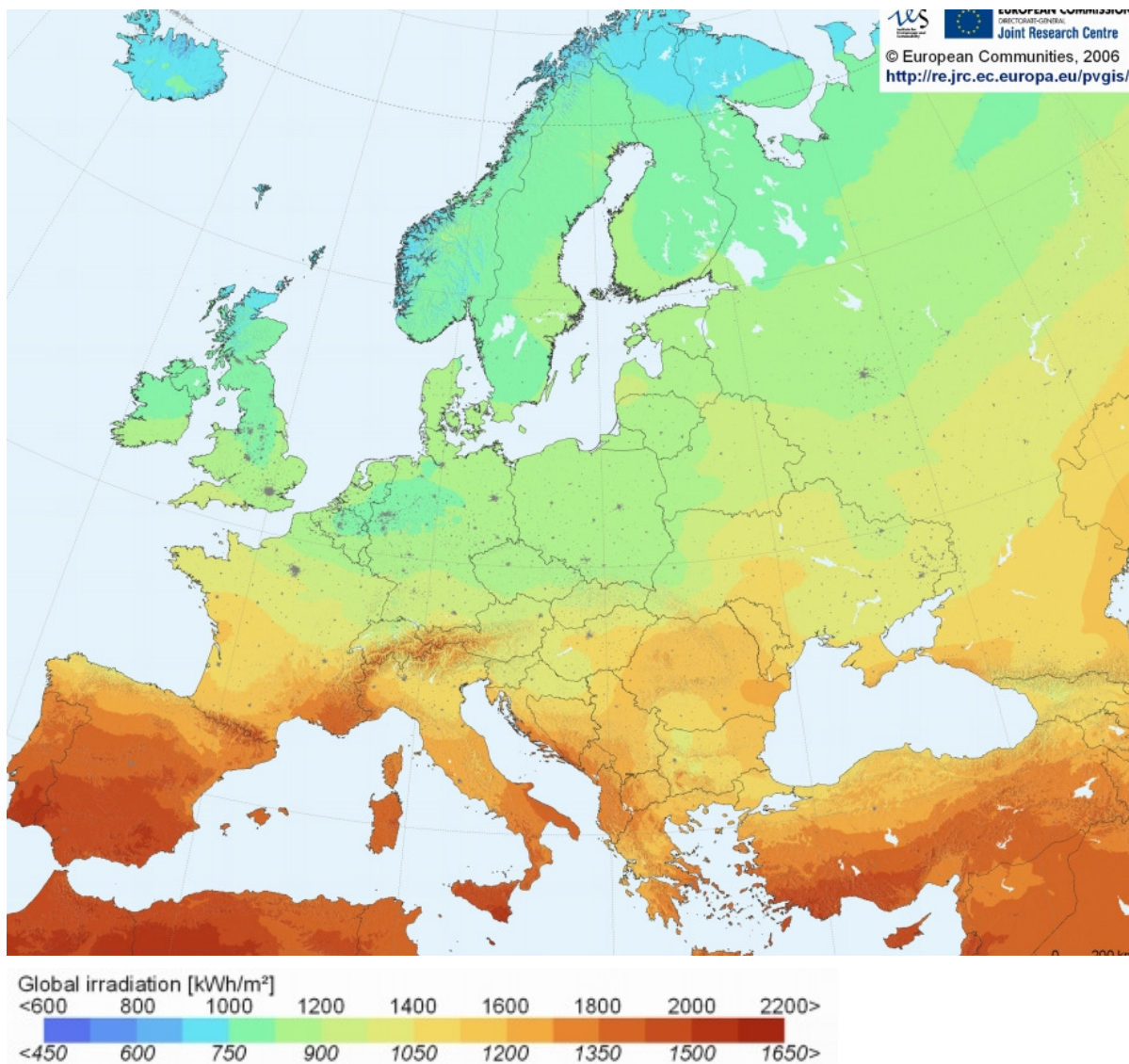


Abb. 5.1.2.1 Jährliche Solare Einstrahlung in Europa (www.fotovoltaikanlage.net/05.07.2014)

5.1.3 Montage-Varianten

Bei der Montage von Solaranlagen gibt es je nach Dachkonstruktion verschiedene Möglichkeiten die Kollektoren auf dem Dach zu befestigen.

5.1.3.1 Aufdach-Montage

Hier werden Führungsschienen auf das Dach montiert und miteinander verbunden. Auf dieses Traggerüst werden dann die Kollektoren montiert (Abb. 5.1.3.1.1). Diese Variante der Kollektormontage wird unter anderem bei Sanierungen bevorzugt da in die Dachhaut so gut wie gar nicht eingegriffen werden muss. Die Kollektoren lassen sich bei einem flacheren Dach noch zusätzlich aufstellen um einen besseren Einstrahlungswinkel zu erreichen. Hier gilt es auf die auftretenden Winde zu achten und gegebenenfalls die Kollektoren zusätzlich gegen stärkeren Wind einfluss zu schützen.



Abb. 5.1.3.1.1 Aufdach-Montage mit Aufständering (www.onlineoff.ch/05.07.2014)

5.1.3.2 Indach-Montage

Bei dieser Montagevariante werden die Kollektoren in die Dachhaut integriert und ersetzen somit Dachziegel oder Blechverkleidungen (Abb. 5.1.3.1.2). Diese Variante wird meistens bei Neubauten und im Zuge von Dachsanierungen eingesetzt. Bei der Ausführung ist vor allem auf die richtige Abdichtung zur Dachhaut zu achten. Durch Verwendung spezieller Abdichtungsmaterialien kann eine dauerhafte Dichtheit gewährleistet werden. Bei dieser Art der Montage ist eine Aufständering der Kollektoren nicht möglich dadurch ist der Winkel der Anlage durch die Dachneigung bestimmt.



Abb. 5.1.3.1.2 Indach-Montage (www.reindl-haustechnik.de/05.07.2014)

5.1.3.3 Flachdach-Montage

Bei einem Flachdach werden die Kollektoren ebenfalls auf einem Schienengerüst montiert. Hier ist vor allem die richtige Ballastierung wichtig (Abb. 5.1.3.3.1). Da man ein Flachdach meistens nicht anbohren darf, muss die Montage in vielen Fällen mittels Betonballasten erfolgen (Abb. 5.1.3.3.2). Hier ist vor allem auf die auftretenden Wind zu achten. Durch nicht richtig platzierte oder zu wenig Betonballaste könnte die Solaranlage bei starkem Wind im schlimmsten Fall vom Dach ge-
weht werden.

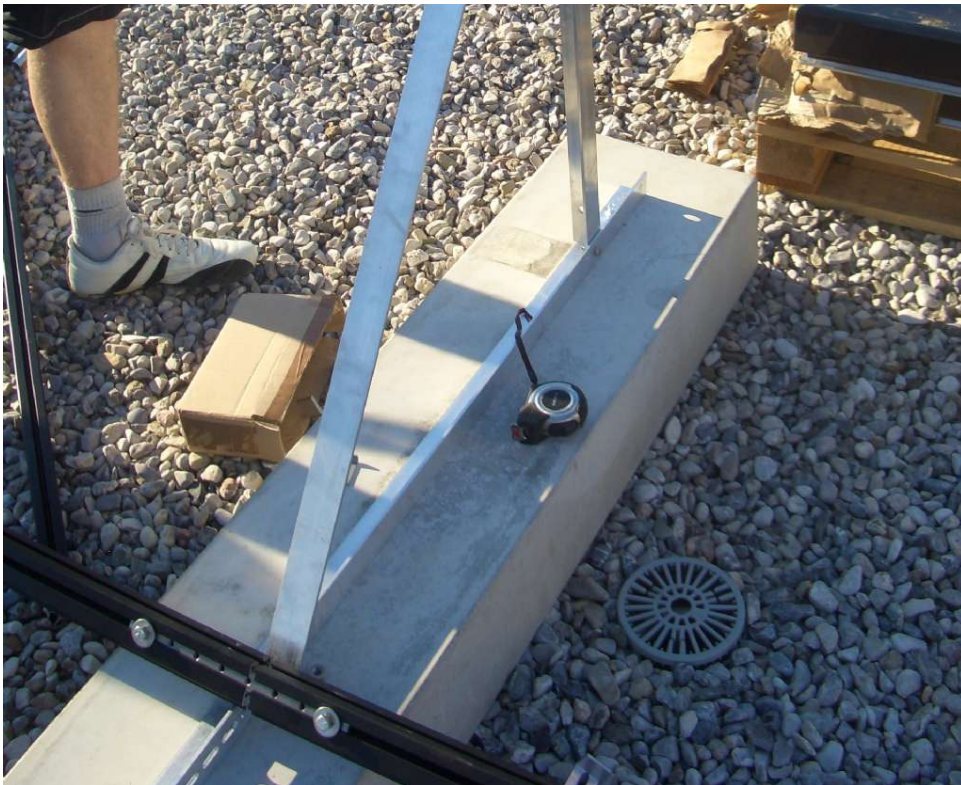


Abb. 5.1.3.3.1 Betonballast für Flachdach-Montage (www.energiesparhaus.at/05.07.2014)



Abb. 5.1.3.3.2 Flachdach-Montage (www.glag.ch/05.07.2014)

5.1.4 Energiebedarf

Wer Solarsysteme dimensionieren will, muss zunächst klären, welche Art Gebäude versorgt werden soll, welche Energieträger dort eingesetzt werden und wie groß der Energiebedarf überhaupt ist.

Wenn man von Energie spricht, ist es sinnvoll, zwischen Primärenergie, Endenergie und Nutzenergie zu unterscheiden.

Primärenergie ist die in der Natur vorkommende Energie in Form von Erdöl, Erdgas, Kohle, Strahlung der Sonne.

Endenergie ist die Energie, die bei der Umwandlung in Nutzenergie eingesetzt wird. Beispiele sind Heizöl, Benzin, Strom, Fernwärme, Erdgas.

Nutzenergie ist die Energie, die nach der letzten Umwandlung dem Nutzer zur Verfügung steht. Warmwasser oder Raumwärme sind Beispiele von Nutzenergie (*Solarpraxis, Sonnenwärme S.107*).

Solarpraxis beschreibt die Verluste zwischen Primär-, End- und Nutzenergie wie folgt:

„Bei der Umwandlung von Primärenergie in Endenergie und schließlich in Nutzenergie gehen rund zwei Drittel der eingesetzten Energie im System verloren. Primärenergie kann nie zu 100% in Nutzenergie umgewandelt werden. (Abb.5.1.4.1)“ (Solarpraxis, Sonnenwärme, S.107)

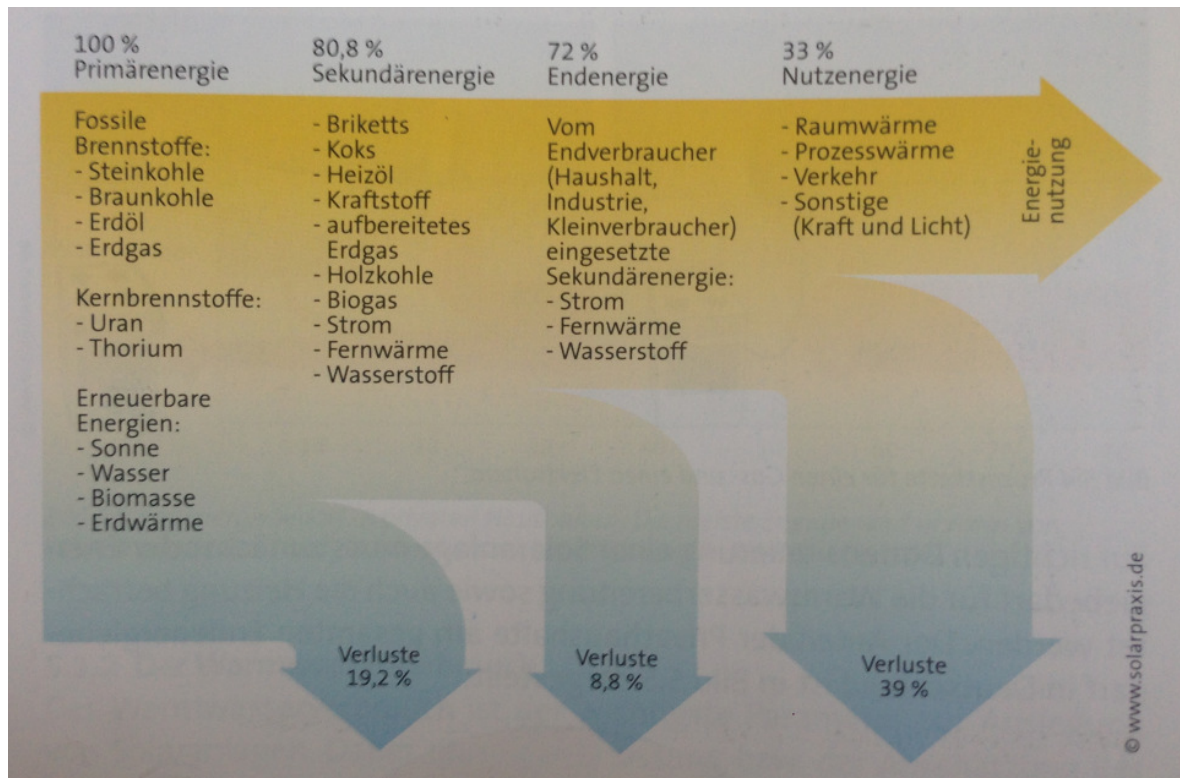


Abb. 5.1.4.1. Verluste bei Umwandlung von Primärenergie (Solarpraxis, Sonnenwärme, S.107)

Zur richtigen Dimensionierung einer Solaranlage muss zunächst der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung sowie auch die Heizung betrachtet werden.

In einem durchschnittlichen Haushalt werden annähernd drei Viertel der Endenergie für die Raumheizung verwendet. Wird die Energie für die Warmwasserbereitung dazugerechnet, steigt der Anteil der Heizungsanlage auf über 80 Prozent (Abb. 5.1.4.2). Hier wird das enorme Potenzial zur Entlastung der Umwelt durch Einsparung fossiler Energieträger deutlich. Es stellen sich daher zwei Fragen:

- Welchen Anteil an der Warmwasserbereitung soll das Solarsystem übernehmen und welcher Anteil soll dem Heizungssystem überlassen werden?
- Wann ist eine Heizungsunterstützung möglich und in welchem Ausmaß?

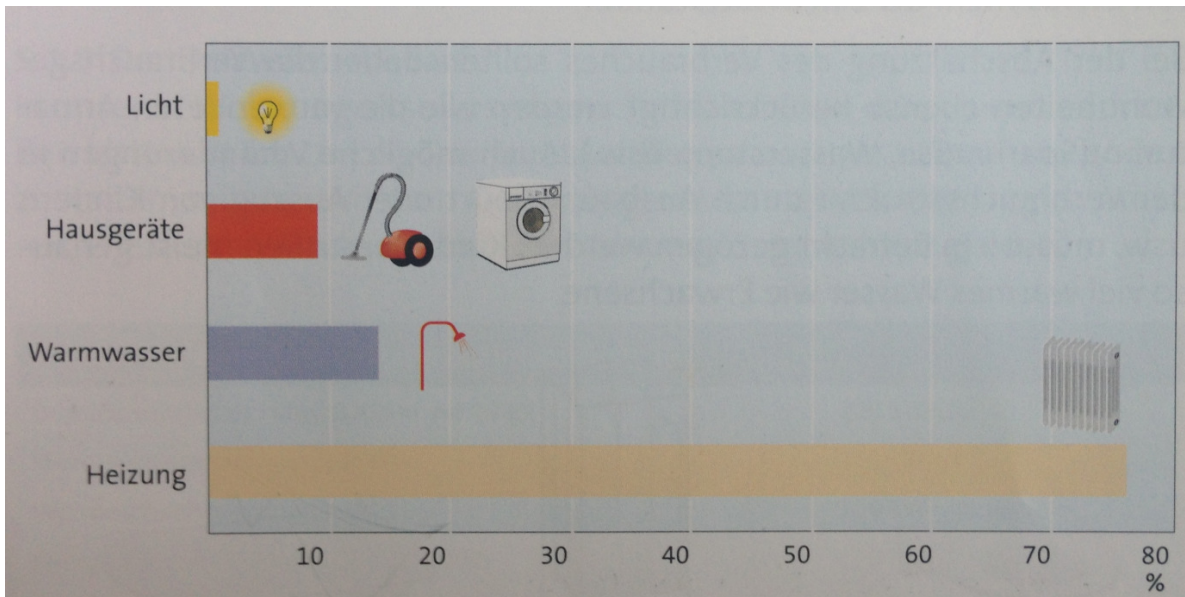


Abb. 5.1.4.2. Energiebedarf im Einfamilienhaus (Solarpraxis, Sonnenwärme, S.109)

5.1.5 Warmwasserverbrauch

Der Warmwasserverbrauch ist der bedeutendste Parameter zur Auslegung von Solaranlagen. Daher sollte der Erfassung bzw. der Abschätzung des Verbrauchs besondere Sorgfalt gewidmet werden. Je genauer das System auf den Verbrauch abgestimmt wird, umso effizienter arbeitet es. In Wohngebäuden bestimmt in erster Linie die Anzahl der Personen den Warmwasserverbrauch.

Die Tabelle 5.1.5.1 liefert Anhaltspunkte für den Warmwasserverbrauch. Entscheidend für den Energiebedarf der Anlage ist neben der Menge des zu erwärmenden Wassers auch das erforderliche Temperaturniveau.

Niedriger Bedarf	23 bis 30 Liter WW (45 °C) pro Person und Tag
Mittlerer Bedarf	30 bis 50 Liter WW (45 °C) pro Person und Tag
Hoher Bedarf	50 bis 60 Liter WW (45 °C) pro Person und Tag

Tab. 5.1.5.1 Warmwasserbedarf (Solarpraxis, Sonnenwärme, S109)

Für die meisten Anwendungen reicht eine Warmwassertemperatur von 45 °C völlig aus. Je höher das Temperaturniveau ist, desto mehr Energie wird für die Warmwasserbereitung benötigt und desto höher sind die Wärmeverluste des Speichers und der Rohrleitungen. Je nach Ausstattung der Wohnung und persönlichen Gewohnheiten lassen sich erfahrungsgemäß Anhaltspunkte für die drei in der Tabelle 5.1.5.1 genannten Kategorien angeben. (*Solarpraxis, Sonnenwärme, S.109*)

5.2 Berechnung der benötigten Solarfläche

5.2.1 Schnellverfahren

Bei einer Solarheizungsberechnung ist das Hauptproblem, dass die thermische Solaranlage vor allem dann besonders viel Wärme gewinnt, wenn der Wärmebedarf am niedrigsten ist. Entgegengesetzt sammelt die Solarheizung zu dem Zeitpunkt vergleichsweise wenig Wärme, wenn man die meiste Energie für die Heizung benötigt. Bei einer optimalen Solarheizungsberechnung sollte dies berücksichtigt werden.

Der richtige Ansatz wäre ein Kompromiss, bei dem die Solaranlage ausreichend Wärme erzeugen kann (Größe des Kollektorfeldes) und diese möglichst lange speichern (Größe des Puffers) kann, ohne dass die Anlage überdimensioniert wird.

Da die größten Energiegewinne durch eine größere Anlage vor allem im Sommer anfallen, wird sich die Anlage durch höhere Investitionskosten und geringere Gesamteffizienz nicht so schnell amortisieren wie eine individuell berechnete und für das jeweilige Projekt ausgelegte Solarheizung. Hierbei spricht man von einem niedrigen Systemnutzungsgrad. (*Thorben, Frahm, Artikel: Planung einer Solarheizung zur Heizungsunterstützung/www.solaranlagen-portal.com/22.07.2014*)

Die Abb. 5.2.1.1 zeigt den durchschnittlichen Solarertrag einer durchschnittlichen Solarthermie Anlage im Vergleich zum Wärmebedarf:

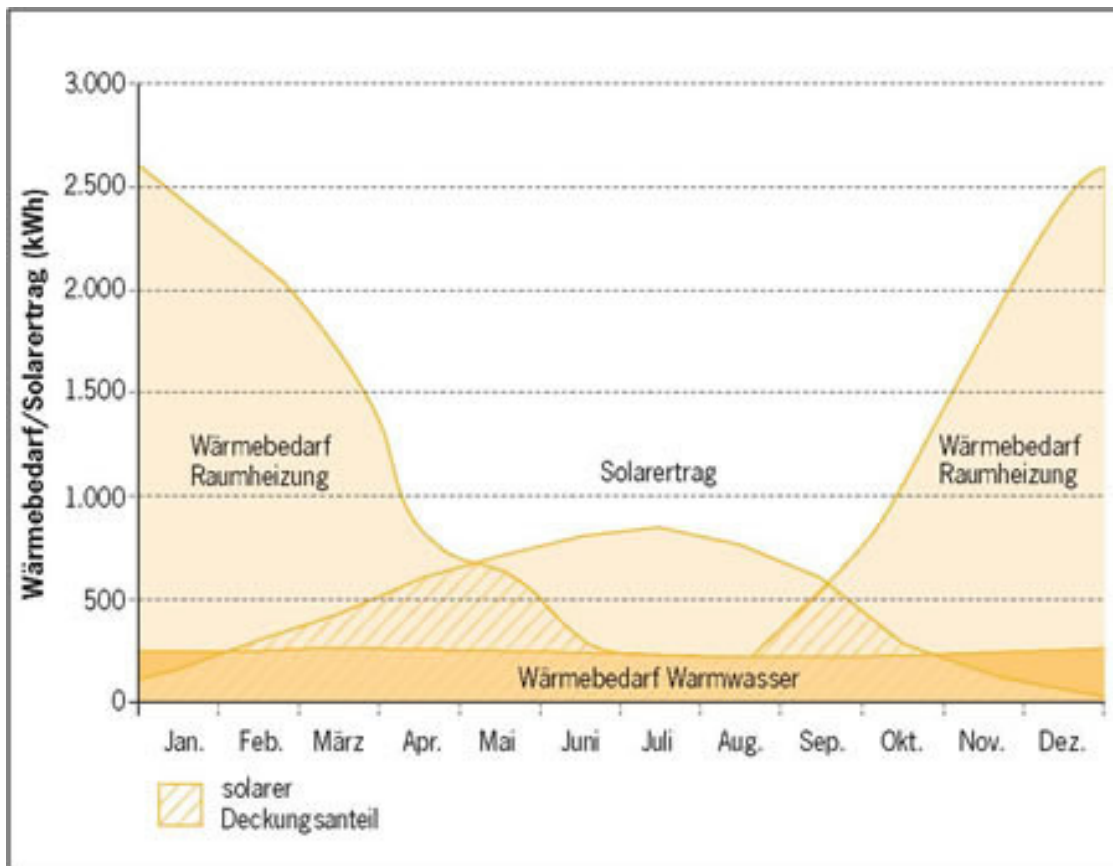


Abb. 5.2.1.1 Solarer Deckungsanteil (www.solaranlagen-portal.com/05.07.2014)

Als Grundlage der Berechnung gilt die Dimensionierung einer solarthermischen Anlage zur Warmwasserbereitung. Hierfür wird der Warmwasserbedarf ermittelt und anschließend wird anhand der solaren Deckungsrate der eigentliche Deckungsanteil der Solaranlage in Prozent ausgedrückt. Üblich sind jährliche Durchschnittswerte von ca. 60%.

Hier ein Beispiel:

„Bei einem Einfamilienhaus sind beispielsweise 7 m² Kollektorfläche für die Warmwasserbereitung notwendig. Die Kollektorfläche wird einmal mit dem Faktor 2 und einmal mit dem Wert 2,5 multipliziert. Diese Faktoren ergeben sich aus den empirischen Erfahrungen aus der Praxis und spiegeln ungefähr den Mehrbedarf für die Heizungsunterstützung wider. Der Mittelwert der beiden Ergebnisse (zwi-

schen 14 und 17,5 m² für das Einfamilienhaus) - abhängig von den anderen Gebäudewerten wie Heizbedarf, Dämmung usw. - wird dann als Kollektorfeldgröße herangezogen.“ (Thorben, Frahm, Artikel: Planung einer Solarheizung zur Heizungsunterstützung/www.solaranlagen-portal.com/22.07.2014)

Anders als bei Einfamilienhäusern wird bei Wohnbauten Erfahrungsgemäß die Solaranlage meist nach den Förderungskriterien ausgelegt. In Österreich zum Beispiel wird ein Wohnbauprojekt erst dann gefördert, wenn die Mindestsolarfläche pro Wohnung verbaut wird. Diese beträgt 2,5 m²/Wohnung (Stand 2014, Oberösterreichische Landesförderung). Das bedeutet, dass bei einem Wohnbauprojekt mit 25 Wohnungen mindestens 55m² Kollektorfläche verbaut werden müssten, um die Förderungskriterien zu erfüllen. Natürlich wäre eine Kollektorfläche von mehr als 2,5 m²/Wohnung erlaubt und auch nötig um eine bessere Heizungsunterstützung für eine Wohnhausanlage zu erreichen. In 99% der Fälle wird aber aus Kostengründen darauf verzichtet (Fa. Förstl GmbH, Mirel Kandzeticovic).

5.2.2 Dimensionierung mittels Auslegungsdiagramm

Mit Hilfe von Dimensionierungsdiagrammen, wie dem in der Abb. 5.2.2.1 für Mehrfamilienhäuser dargestellten Grafik, können die Kollektor- und Speicherabmessungen für verschiedene Typen von Warmwasserbereitungsanlagen ausgelegt werden. Die nach dem Diagramm ausgelegte Kollektorfläche entspricht der benötigten Kollektorfläche bei Südausrichtung des Kollektors unter einem Neigungswinkel zur Horizontalen von $\beta = 40^\circ$. Weichen Ausrichtung und Neigung der für das Kollektorfeld geplanten Fläche von denen des Dimensionierungsdiagramms ab, so muss die Größe des Kollektorfeldes um einen bestimmten Faktor korrigiert werden. Nach Festlegung der wichtigsten Komponentengrößen (Kollektor und Speicher) kann anhand des Diagramms zur Systemkonzeptfindung bereits das für das jeweilige Objekt passende Anlagenschema gefunden werden.

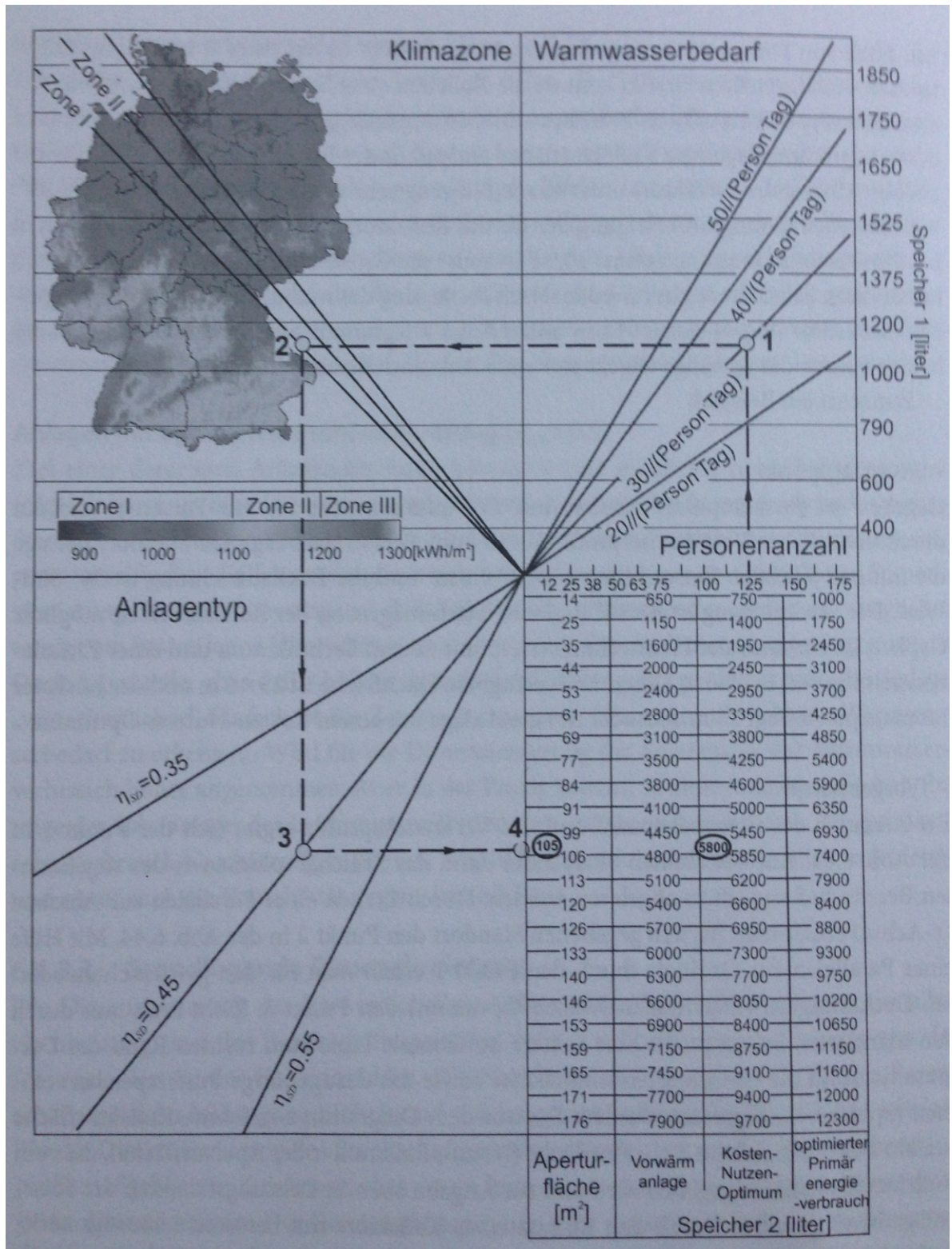


Abb. 5.2.2.1 Dimensionierungsdiagramm für Mehrfamilienhäuser zur grafischen Ermittlung der Volumina des Bereitschaftsspeichers (Speicher 1) und des Pufferspeichervolumens (Speicher 2). (Lehrbuch Thermische Solarenergie – S.452 Abb. 6.44)

Im Lehrbuch „Thermische Solaranlagen“ von den Autoren Robert Stieglitz und Volker Heinzel wird die Auslegung mittels Dimensionierungsdiagramm in einem Beispiel veranschaulicht.

Beispiel (lt. Lehrbuch Thermische Solaranlagen S.451)

- *Ausgangspunkt*

„Gegeben sei ein kompakter Neubau mit 50 Wohneinheiten für 125 Personen und ein durchschnittliches Verbraucherprofil mit 30l pro Person und Tag. Am Standort betrage die mittlere Jährliche Einstrahlung 1020 kWh/m² und die Dachausrichtung ist 30° Süd-West. Die Dachneigung ist $\beta = 40^\circ$ und eine Dachintegration der Kollektoren ist möglich. Geplant ist ein zentrales Haustechniksystem mit neuem Technikraum und einer Zirkulationsleitung von ca. 250m Länge. Die Verfügbare Dachfläche ist 25 x 6 m und der höchste Montagepunkt liegt bei 25 m. Gesucht ist eine Anlage mit einem Kosten-Nutzen-Optimum.“

- *Vorgehensweise*

„Bei Kenntnis der Personenzahl und des Verbraucherprofils ergibt sich der Punkt 1 in der Abb. 5.2.2.1. Auf der rechten Skala kann dann das Speichervolumen 1, des sogenannten Bereitschaftsspeichers abgelesen werden. Durch einer Parallelen zur Abszisse (x-Achse) erhält man für den gegebenen Standort den Punkt 2. In der Abb. 5.2.2.1. Mit Hilfe einer Parallelen zur Ordinate durch Punkt 2 erhält man für den gewünschten solaren Deckungsgrad (hier Kosten-Nutzen-Optimum) den Punkt 3. Zieht man durch den markierten Schnittpunkt eine weitere horizontale Linie zum rechten Rand des Diagramms, kann die benötigte Kollektorfläche sowie das dazugehörige Pufferspeichervolumen (Speicher 2) abgelesen werden. Die aus dem Diagramm abgelesene Kollektorfläche (Netto-, Einstrahl- oder Aperturfläche), die vom Kollektorhersteller angegeben wird und zur Angabe über die Leistungsfähigkeit der Solaranlage benötigt wird. Durch den Einsatz eines Kollektors mit besseren Leistungsmerkmalen kann der Deckungsanteil minimal gesteigert werden. Die Aperturfläche entspricht nicht der effektiven vom Kollektor eingenommenen Fläche.

Da in der Vorplanungsphase meist der Kollektor und seine Maße noch nicht bekannt sind, kann überschlägig folgende Formel angewendet werden.“

$$„A_{\text{Brutto}} = 1.15 \cdot A“$$

„In der A_{Brutto} die Bruttokollektorfläche ist und A die Aperturfläche. Weicht die für Kollektoren zur Verfügung stehende Fläche von der im Dimensionsdiagramm angenommenen Südausrichtung und dem Neigungswinkel von $\beta = 40^\circ$ ab, muss die Kollektorfläche korrigiert werden. Der Aperturfläche A wird dann multiplikativ ein Korrekturfaktor δ zugeschlagen, so dass sich die korrigierte Aperturfläche A_{kor} aus $A_{\text{kor}} = \delta \cdot A$ ergibt. Typische Korrekturfaktoren δ sind der Tab. 5.2.2.1 zu entnehmen.“

Dachneigung β (°)	Abweichung von der Südrichtung γ (°)				
	45	30	0	-30	-45
20	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
25	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
30	1.05	1.05	1	1.05	1.05
35	1.05	1.05	1	1.05	1.1
40	1.05	1.05	1	1.05	1.1
45	1.05	1.05	1	1.05	1.1
50	1.1	1.05	1	1.1	1.15
55	1.1	1.1	1.05	1.1	1.15
60	1.15	1.1	1.1	1.15	1.2

Tab. 5.2.2.1 Korrekturfaktoren zur Ermittlung der korrigierten Aperturfläche A_{kor} bei nicht exakter Südausrichtung eines Dachs für verschiedene Dachneigungswinkel β und Azimutwinkel γ (Lehrbuch Thermische Solarenergie – S.453 Abb. 6.6)

5.3 Optimale Ausrichtung und Neigung

So wichtig wie die richtige Berechnung der Kollektorfläche sind auch optimale Ausrichtung und Neigung der Anlage. Die beste Anlage wird nicht den gewünschten Ertrag liefern wenn sie falsch oder ungünstig platziert wurde. Nach Süden orientierte Solaranlagen bringen den höchsten Ertrag. Je weiter man von der Südrichtung abweicht umso geringer wird die Sonneneinstrahlung. (Abb. 5.3.1 und Abb. 5.3.2)

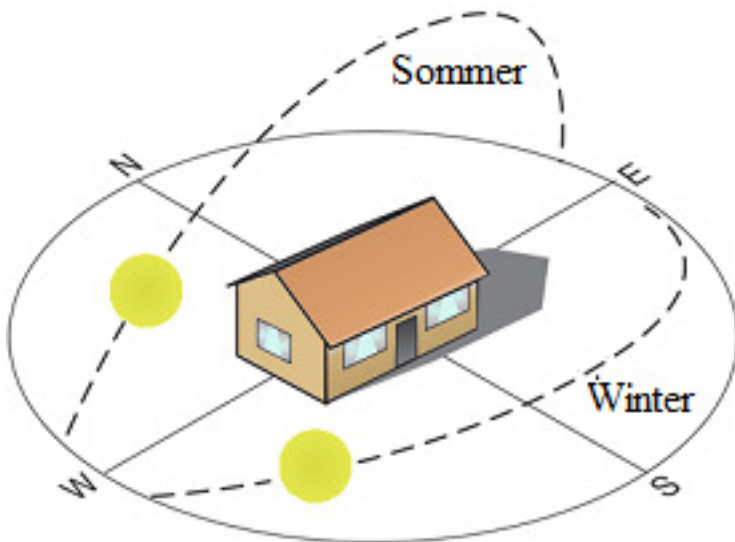


Abb. 5.3.1 Sonnenverlauf Sommer und Winter (www.mpptsolar.com)

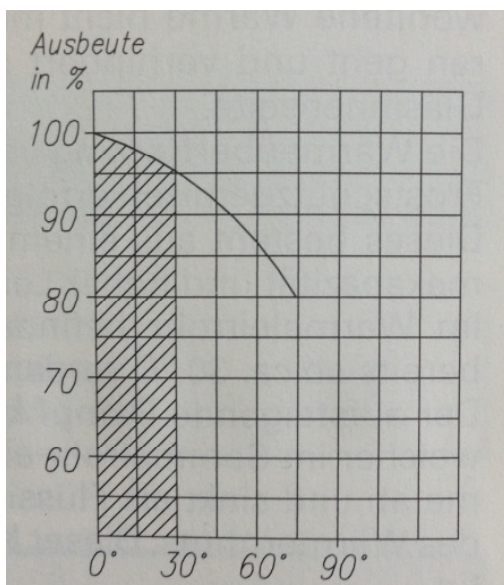


Abb. 5.3.2 Ausbeuteverringerung bei Abweichung von Südrichtung (Bohmann Fachbuch, S. 56)

Bei der Neigung unterscheidet man zwischen 5 Neigungswinkeln des Kollektors. Wie in Abb. 5.3.3 ersichtlich verändert sich der Ertrag der Anlagen mit dem Neigungswinkel. Der Optimale Neigungswinkel für die Ganzjahresnutzung ist $\alpha = 47^\circ$ (Abb. 5.3.4).

- $\alpha = 20^\circ$: Mindestneigungswinkel (Selbstreinigung)
- $\alpha = 30^\circ$: ideale Sommernutzung
- $\alpha = 47^\circ$: idealer Ganzjahresnutzen
- $\alpha = 60^\circ$: ideale Winternutzung
- $\alpha = 90^\circ$: maximaler Neigungswinkel (Fassadenintegration)

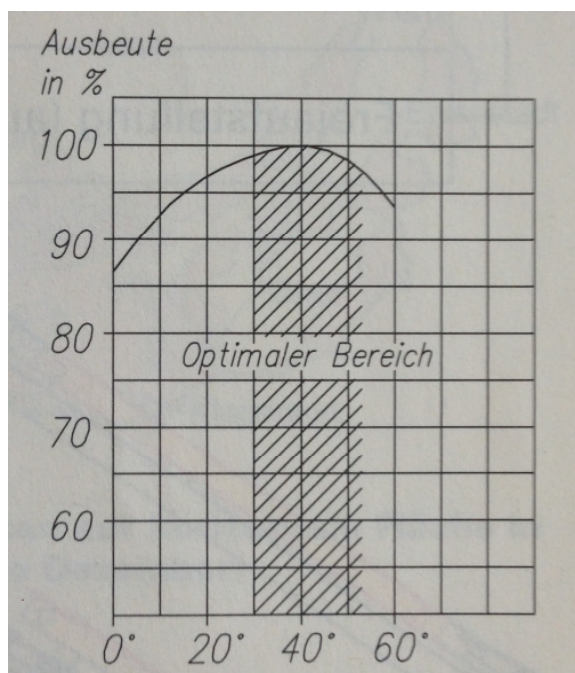


Abb. 5.3.3 Ausbeuteverringern bei Abweichung von Optimaler Neigung (Bohmann Fachbuch, S. 56)

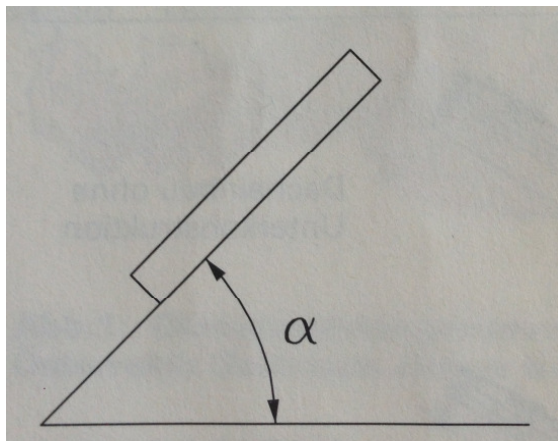


Abb. 5.3.4 Optimale Neigung (Bohmann Fachbuch, S. 56)

5.4 Sicherheitstechnische Ausrüstung

Eine Solaranlage besteht aus vielen Komponenten (Abb. 5.4.1), die alle auf die Solaranlage angepasst werden und besonders wichtig dabei sind die sicherheitstechnischen Anlagenteile. Neben Manometer, Thermometer und Frostschutzflüssigkeit dürfen folgende Anlagenteile auf keinen Fall bei einer Solaranlage fehlen:

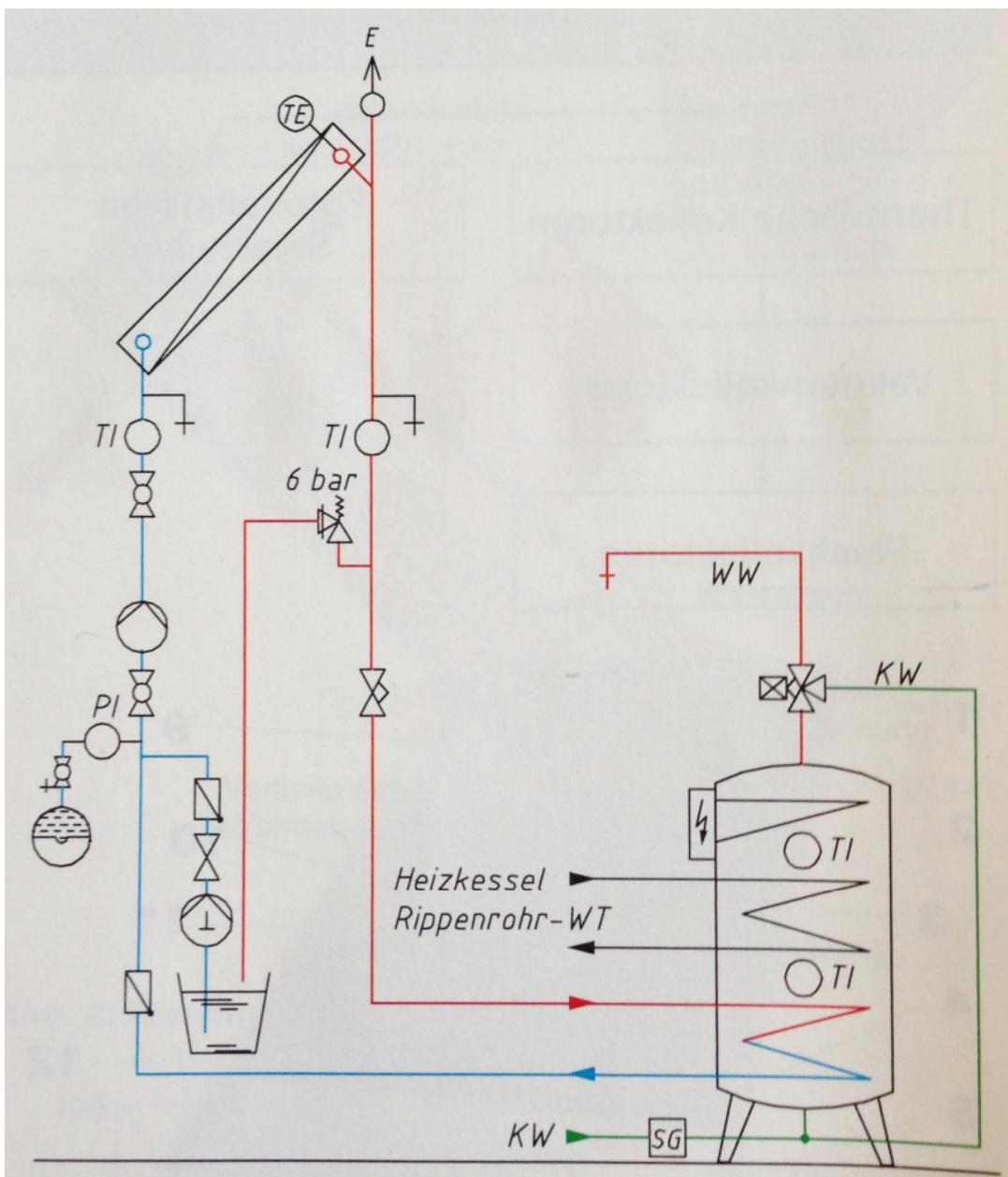


Abb. 5.4.1 Aufbau und Funktionsschema einer einfachen Solaranlage (Bohmann Fachbuch, S. 56)

5.4.1 Sicherheitsventil

Sicherheitsventile schützen Heizungssysteme und deren Komponenten vor einem unzulässigen Druckanstieg, der zu einer Schädigung dieser führen kann. Sicherheitsventile leiten beim Überschreiten des Ansprechdruckes Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten in die Atmosphäre oder in Sammelrohrleitungen ab. Für Solaranlagen werden federbelastete Sicherheitsventile verwendet, die als Membran-Sicherheitsventile ausgeführt sind und bei Wärmeleistungen über 1000 kW und Drücken über 2,5 bar auch als Vollhub-Sicherheitsventil.



Abb. 5.4.1.1 Membran-Sicherheitsventil
(www.heizprofi24.de/06.07.2014)

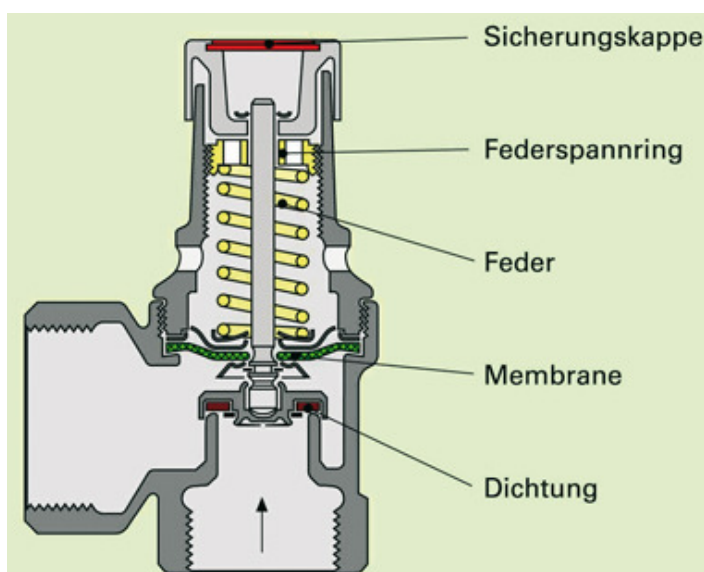


Abb. 5.4.1.2 Membran-Sicherheitsventil im Schnitt (www.sbz-monteur.de)

„Die Ventilgröße kann je nach Wärmeleistung der Heizungs- bzw. Solaranlage variieren. Die Membran-Sicherheitsventile haben gegenüber dem Eintritt einen größeren Abgangsdurchmesser und die Mündung muss frei beobachtbar sein. Zweckmäßig ist der Anschluss eines Ablauftrichters. Die Mündung der Ausblaseleitung muss im Freien liegen. Zuleitung und Ausblaseleitung dürfen zudem nicht absperrbar sein und keine Schmutzfänger oder Formstücke enthalten, die den vorgeschriebenen Querschnitt verengen. Sicherheitsventile sind an leicht zugänglicher Stelle und am höchsten Punkt des Wärmeerzeugers oder in seiner unmittelbaren Nähe zu platzieren. Die Werkstoffe der Sicherheitsventile müssen bis 140 °C Dampftemperatur beständig sein.“ (RSS, S. 877)

5.4.2 Ausdehnungsgefäß

Membranausdehnungsgefäße (MAG) (Abb. 5.4.2.1), auch Expansionsgefäß oder Druckausgleichsbehälter genannt, sind Bauteile in hydraulischen Systemen die die, auf Grund der sich ständig ändernden Anlagentemperaturen, auftretenden Wasservolumenschwankungen kompensieren sollen.

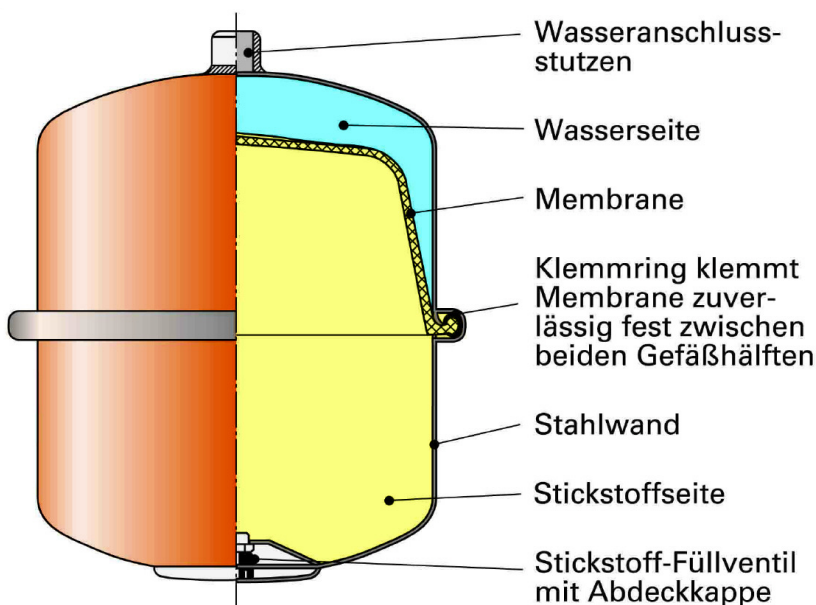


Abb. 5.4.2.1 Membran-Ausdehnungsgefäß im Schnitt (www.schulungsstelle-traunstein.de/06.07.2014)

Eine Heizungsanlage kann nicht durchgehend mit derselben Temperatur betrieben werden. Wenn kein Wärmebedarf da ist z.B. während der Nachtabenkung oder höheren Außentemperaturen schaltet sich die Anlage ab und somit sinkt die Temperatur und das Wasservolumen nimmt ab. Umgekehrt steigt das Volumen sobald die Heizung wieder in Betrieb geht. Da das Rohrleitungsnetz die Belastungen durch die Ausdehnung nicht aufnehmen kann ist ein Ausdehnungsgefäß unerlässlich.

Die Volumenänderung ΔV einer Flüssigkeit je K Temperaturänderung ΔT wird beschrieben durch den medienabhängigen kubischen Ausdehnungskoeffizienten γ :

$$\gamma = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

Je höher sein Wert, desto höher die Druckerhöhung.

Als Faustformel gilt: 1 Liter Ausdehnung pro kW \Rightarrow 12 Liter \Rightarrow 12 kW

Der Druckunterschied kann bei einem falsch ausgelegten Ausdehnungsgefäß den Wirkungsgrad der Heizanlage erheblich beeinflussen und das auch wenn diese noch funktioniert. Ein Leistungsverlust von bis zu 10 % ist Erfahrungsgemäß durchaus möglich.

Membranausdehnungsgefäße sind mit einer sogenannten Membran ausgestattet, die Flüssigkeit und Gas voneinander trennt (Abb. 5.4.2.2), und so weitestgehend den Übergang vom Gas in die Flüssigkeit verhindert. Somit entfällt eine regelmäßig notwendig werdende Anlagenwartung. Aus diesem Grund wird in modernen Heizungs- und Sonnenkollektoranlagen ausschließlich diese Bauart verwendet.

Der Vorgang in einem Ausdehnungsgefäß wird von Herwig Miessbacher folgendermaßen geschildert:

„Bei Erwärmung dehnt sich die nahezu inkompressible Flüssigkeit aus und verdichtet somit das Gaspolster auf der anderen Membranseite. Aufgrund der flexiblen Ausgestaltung zumindest des Arbeitsbereichs kann sich dieser somit innerhalb des Behälters derart verlagern, dass ein Druckausgleich zwischen Flüssigkeit und Gaspolster ermöglicht werden kann.“ (Herwig, Miessbacher, Patentauszug, 14.11.2013)

Ist die Verwendung anderer Flüssigkeiten als Wasser erforderlich (z. B. Ethylenglykol/Wasser-Gemisch). So gilt es zu beachten, dass der Ausdehnungskoeffizient deutlich über dem von Wasser liegt und das Volumen des Ausdehnungsgefäßes entsprechend größer ausfällt. Generell gilt, dass der zulässige Anlagen- druck bei der höchsten Systemtemperatur nicht überschritten und bei der niedrigsten nicht unterschritten werden darf.

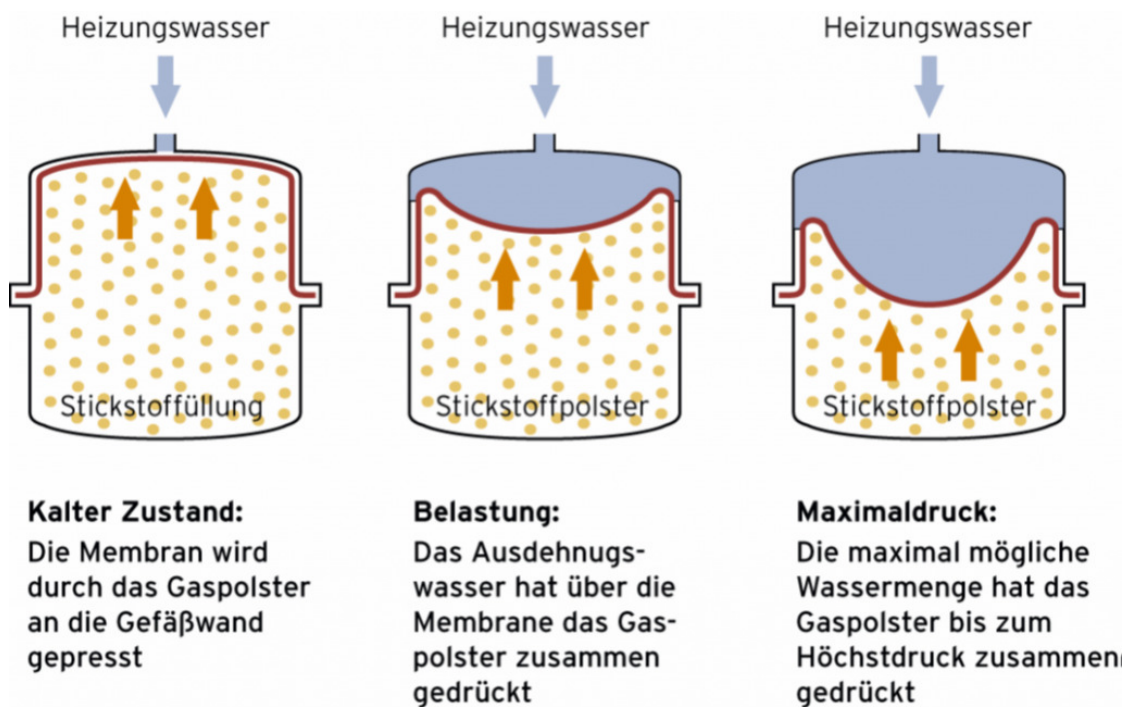


Abb. 5.4.2.2 Membran-Ausdehnungsgefäß – Funktionsweise (www.sbz-monteur.de)

5.4.3 Wichtige Sicherheitshinweise zur Installation von Solaranlagen

Kollektorfeld

- Spannungsfreie Montage
- Unebenheiten der Dachkonstruktion ausgleichen
- Bei Dachmontage in Giebelhöhe montieren (ca. 50 cm unterhalb)

Rohrleitungen

- Rohrführung des Solarverlaufes leicht steigend zum Kollektor
- Händische oder mechanisch wirkende Entlüftungstöpfe
- Bei frei verlegten Leitungen darauf achten, dass Wärmedämmung UV-beständig, wasserfest und temperaturbeständig ist
- Verrohrung nach Möglichkeit in Tichelmann-System ausführen
- Keine verzinkten Teile im Solarkreislauf verwenden

Frostschutz

- Mindestens 25% Frostschutzanteil
- Maximal 50% Frostschutzanteil
- Frostschutz vor Einfüllen abmischen oder Fertiggemisch verwenden
- Frostschutz jährlich auf Frostsicherheit und pH-Wert überprüfen
- Frostschutz nicht brennbar, biologisch abbaubar, nicht giftig und nicht ätzend

Elektrik

- Fühlerleitungen getrennt von 230 V -Stromleitungen verlegen (Induktion)
- Fühlerplatzierung am heißesten Kollektor des Kollektorfeldes
- Fühlerplatzierung im Speicher mit langer Tauchhülse knapp über dem Wärmetauscher
- Kollektoren sind bei vorhandener Blitzschutzanlage anzuschließen

(Bohmann Fachbuch, S. 57)

5.5 Auslegung der Wärmetauscher

Wärmetauscher, auch Wärmeübertrager genannt, sind wesentliche Bestandteile eines jeden solarthermischen Systems. Es ist nicht einfach den Begriff Wärmeübertrager exakt zu definieren, da es sowohl bei der Erzeugung von Wärme, deren Transport und auch der Einspeicherung zum einem Wärmetransport kommt. In diesem Sinne ist auch ein Kessel, ein Solarabsorber, eine warme Wasserführende Leitung wie auch ein solarthermischer Speicher ein Wärmeübertrager. In diesem Zusammenhang sollen als Wärmetauscher geschlossene technische Bauteile verstanden werden, mit Hilfe derer effizient Wärme zwischen zwei Kreisläufen ausgetauscht werden kann. Zunächst werden die Wärmetauscherarten definiert. Im Anschluss daran werden allgemeine Gesetzmäßigkeiten von Wärmetauschern abgeleitet, bevor die Betriebscharakteristiken dargelegt und am Beispiel von Gleich- und Gegenstromwärmetauschern erklärt werden. (*Lehrbuch Thermische Solarenergie*, S. 676)

5.5.1 Wärmetauscherarten und deren Klassifizierung

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Wärmetauschertypen. Grob lassen sie sich in drei Klassen einteilen, der Rohr-, der Platten- und der regenerative Wärmetauscher, den die Abb. 5.5.1.1 zeigt.

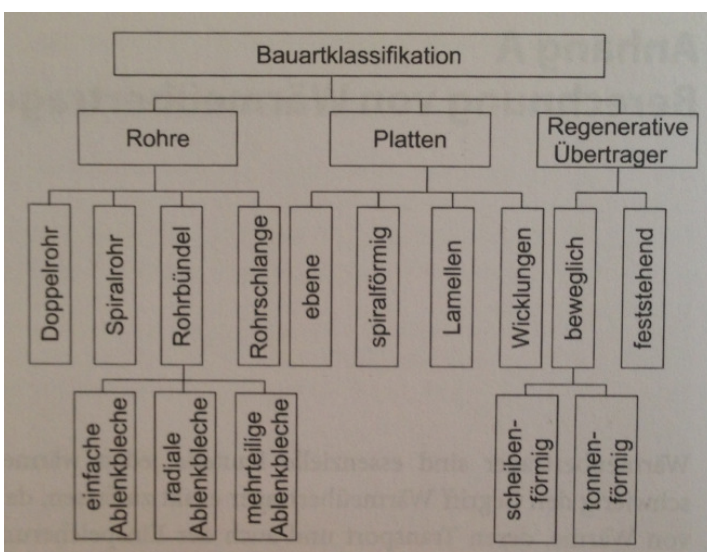


Abb. 5.5.1.1 Klassifizierung von Wärmetauschertypen (*Lehrbuch Thermische Solarenergie*, S. 676)

5.5.2 Allgemeine Gesetzmäßigkeiten von Wärmetauschern

Die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten werden im Lehrbuch „Thermische Solaranlagen“ anhand eines Beispiels erläutert:

„Der allgemeine Fall eines technischen Wärmetauschers kann durch das in der Abb. 5.5.2.1 dargestellte Bild vereinfacht abgebildet werden. Am Eintritt der einen Seite strömt das Medium „1“ mit der Temperatur T_1' und dem Massenstrom \dot{m}_1 in den Wärmetauscher ein. Auf dem Weg des Mediums „1“ zum Austritt verändert sich durch die Wärmeabgabe an das Medium „2“ die Temperatur des Medium „1“ zum Austritt auf den Wert T_1'' . Der Wärmetransport erfolgt durch einen Transfer der Energie aus dem Fluid „1“ an die Medien trennende Wand und von dort aus an das Fluid „2“. Die Größenordnung des Prozesses hängt vom Wärmeübertragungskoeffizienten κ der zur Verfügung stehenden Fläche A ab. Wärmetauscher können nach verschiedenen Prinzipien gestaltet werden. Die bekanntesten Bauformen sind Gleichstrom-, Gegenstrom- und Kreuzstromwärmetauscher. Je nach Konstruktion ergeben sich unterschiedliche örtliche Wärmedurchgangskoeffizienten und Temperaturverläufe. Durch Einführung eines von der Ausführung abhängigen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten κ und einer mittleren Temperaturdifferenz ΔT_m kann man den Wärmestrom Q angeben.“

$$Q = \kappa \cdot A \cdot \Delta T_m$$

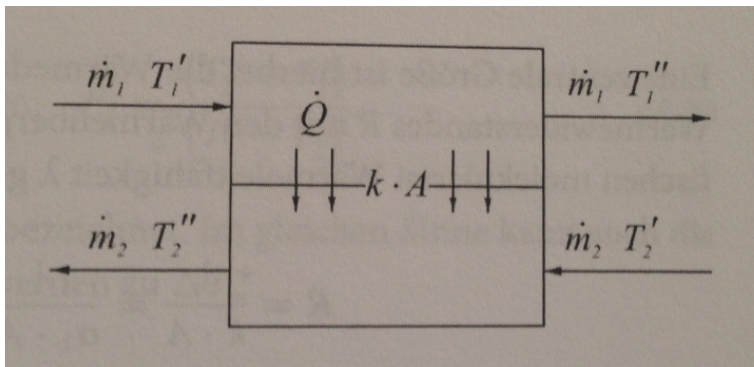


Abb. 5.5.2.1 Abstrahiertes Modell eines Gegenstromwärmetauschers (Lehrbuch Thermische Solarenergie, S. 677)

5.5.3 Plattenwärmeübertrager

Da bei Solaranlagen so gut wie immer Plattenwärmeübertrager eingesetzt werden, wird hier nur auf diese genauer eingegangen.

5.5.3.1 Aufbau eines Plattenwärmetauschers

Ein Plattenwärmeübertrager (PWÜ) - oft auch als Plattenwärmetauscher (PWT) oder Plattenkühler (PK) bezeichnet - ist eine besondere Bauform eines Wärmetauschers. Er setzt sich aus wellenförmig profilierten Platten zusammen, die so aufgebaut sind, dass jeweils in den aufeinanderfolgenden Schichten einmal das aufzuwärmende und danach das Wärme abgebende Fluid fließt. Das Plattenpaket muss nach außen und zwischen den Medien abgedichtet werden und wird beispielsweise mit Schrauben zusammengehalten. (Abb. 5.5.3.1.1)

(PatentDE102008004529A1, Pkt.0025)

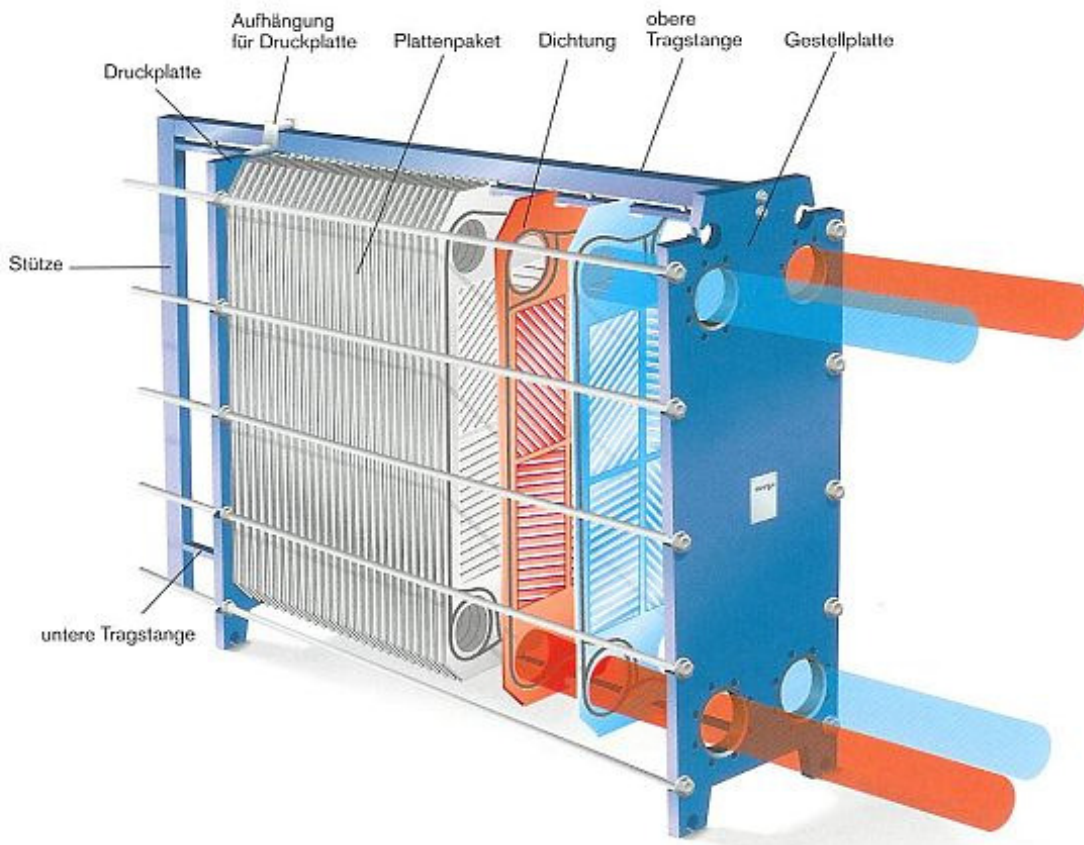


Abb. 5.5.3.1.1 Aufbau eines geschraubten Plattenwärmetauschers

Aufgrund der geschraubten Bauweise sind solche Plattenwärmeübertrager sehr leicht zu erweitern, und äußerst flexibel bezüglich der Gestaltung der Strömungsführung, welche durch die Lage der Dichtungen bestimmt ist.

Eine häufigere Bauform sind gelötete Plattenwärmetauscher (Abb. 5.5.3.1.1). Bei dieser Bauform sind die einzelnen Platten miteinander verlötet, somit kann auf die Spannschrauben verzichtet werden. Der Nachteil jedoch liegt in der Reparatur. Im Gegensatz zum geschraubten Wärmetauscher, bei dem sich einzelnen die Platten jederzeit austauschen lassen, kann ein gelöteter Wärmetauscher nicht repariert werden. Die einzige Möglichkeit in diesem Fall ist der komplette Austausch.

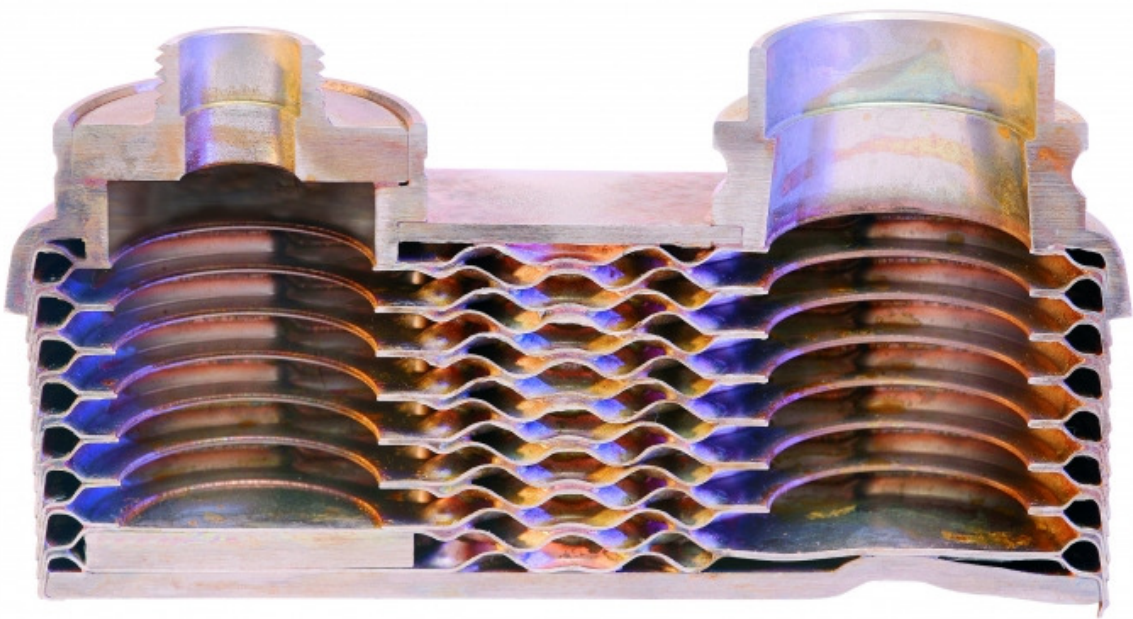


Abb. 5.5.3.1.2 Aufbau eines gelöteten Plattenwärmetauschers

5.5.3.2 Auslegung eines Plattenwärmetauschers

Die Auslegung solcher Wärmetauscher erfolgt heutzutage mittels bestimmter Programme. Jeder Hersteller hat sein eigenes Auslegungs- und Berechnungsprogramm. Die Wärmetauscher werden in den meisten Fällen vom Solarhersteller in einer kompakten Solarstation geliefert und sind bereits auf die jeweilige Solaranlage abgestimmt (Abb. 5.5.3.2.1). Auf die exakte Berechnung wird nicht näher eingegangen. (Fa. Fösrtl GmbH, Mirel Kandzeticovic)



Abb. 5.5.3.2.1 Solarstation mit Plattenwärmetauscher

5.6 Verrohrung von Solarkollektoren

5.6.1 Innere Verrohrung

Es gibt drei verschiedene Arten der inneren Verrohrung von Kollektoren. Die harfenförmige, die mäanderförmige und die U-förmige Verrohrung. Größtenteils kommt die mäanderförmige Verrohrung zum Einsatz, diese ist auch die optimalste, da sich hierbei die Solarflüssigkeit am längsten im Kollektor befindet und somit die höchste Wärmeübertragung stattfindet. In der Abb. 5.6.1.1 sind die verschiedenen Verrohrungsmöglichkeiten dargestellt. (Bohmann Fachbuch, S.57)

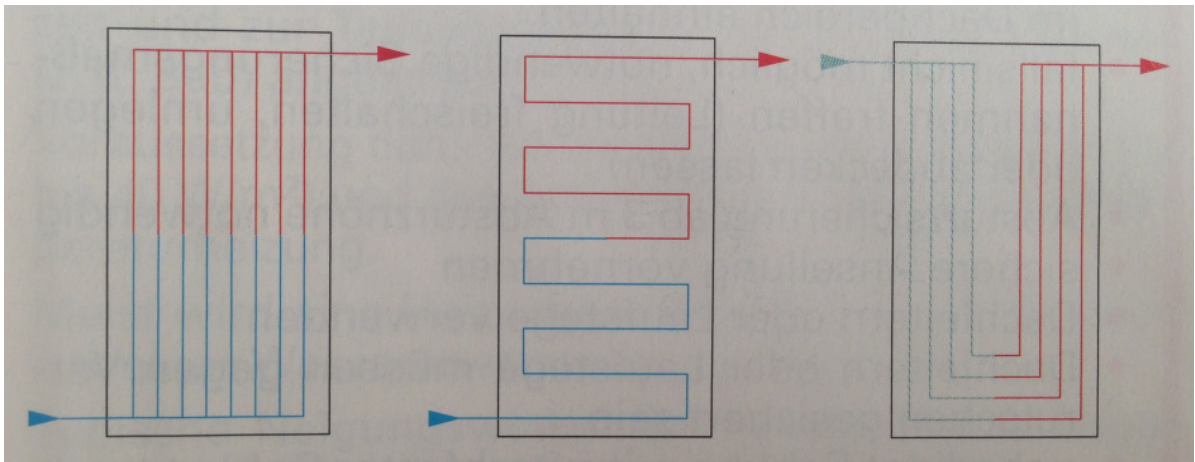


Abb. 5.6.1.1 Harfenförmige, mäanderförmige, und U-förmige Verrohrung (Bohmann Fachbuch, S.57)

5.6.2 Externe Verrohrung

Bei der externen Verrohrung wird zwischen der seriellen und der parallelen Verrohrung unterschieden.

5.6.2.1 Serielle Verrohrung

Bei der seriellen Verrohrung werden die einzelnen Kollektoren in Serie miteinander verbunden (Abb. 5.6.2.1.1). Somit ist der Rücklauf des ersten Kollektors immer der Vorlauf des nächsten usw. bis zum letzten Kollektor. Der Nachteil an dieser Art der Verbindung ist, dass jeder Kollektor einen kälteren (unten) und einen wärmeren (oben) Bereich hat und die Solarflüssigkeit bei der seriellen Verrohrung immer wieder durch den kälteren Bereich des nächsten Kollektors fließt und somit Verluste entstehen.

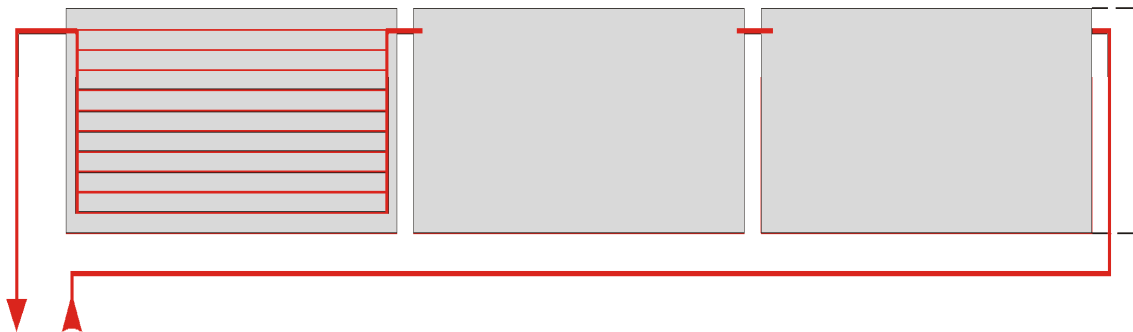


Abb. 5.6.2.1.1 Serielle Kollektor-Verrohrung (www.aee.at/10.07.2014)

5.6.2.2 Parallele Verrohrung

Bei der parallelen Verrohrung kommt in den meisten Fällen das System Tichelmann zum Einsatz (Abb. 5.6.2.1.2). Beim Tichelmann-System (Tichelmannsche Rohrführung) werden die Rohre vom Wärmeerzeuger zum Verbraucher und zurück in Ringverlegung so geführt, dass die Summe der Vorlaufleitung und der Rücklaufleitung bei jedem Kollektor etwa gleich ist. Kollektoren mit kurzem Vorlauf haben eine lange Rücklaufleitung und umgekehrt. Der Sinn dabei ist, dass alle Kollektoren etwa gleichen Druckverlusten ausgesetzt sind und sich damit gleiche Volumenströme und gleiche Wärmeströme in diesen einstellen, auch wenn keine Regelventile verwendet werden. Dadurch werden die Kollektoren Gleichmäßig erwärmt, auch diese die weiter entfernt situiert sind. Dieses System wäre für jede Solaranlage zu empfehlen, leider wird aufgrund der erhöhten Montagekosten (höhere Rohrlängen) in vielen Fällen darauf verzichtet. (*Bohmann Fachbuch, S.57*)

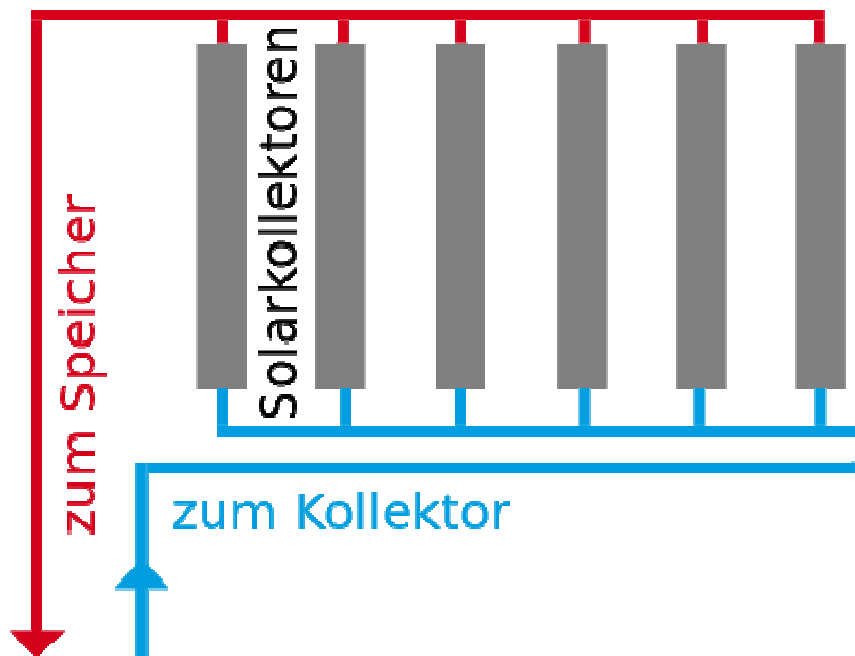


Abb. 5.6.2.1.2 Tichelmann-System (<http://de.wikipedia.org/10.07.2014>)

5.6.3 Durchströmung von Solarkollektoren

Bei der Durchströmung wird zwischen drei Arten unterschieden:

- High-Flow
- Low-Flow
- Matched-Flow

Betriebsart	Spez. Durchfluss (kg/m ² · h)	Temp.-differenz $\vartheta_{VL} - \vartheta_{RL}$
High-Flow	30 – 70	max. 15 K
Low-Flow	10 – 18	max. 40 K
Matched-Flow	10 – 70	max. 40 K

Tab. 5.6.3.1 Die Arten der Durchströmung von Kollektoren (Bohmann Fachbuch, S. 57)

5.6.3.1 High-Flow

High-Flow ist die konventionelle Betriebsart. Der hohe Massenstrom bedingt einen guten Wärmeübergang im Kollektor und im Wärmetauscher und auch gute Kollektorwirkungsgrade. Üblicherweise bei parallel geschalteten Kollektoren mit geringer „thermischer Länge“ (ist die Länge des Weges durch den Kollektor oder das Kollektorfeld) und bei Systemen mit geringem Temperaturhub, z.B. Nutzwassererwärmung auf ca. 65 °C. (Bohmann Fachbuch, S.57)

5.6.3.2 Low-Flow

Durch das langsame Durchströmen einer großen thermischen Länge bei meist seriengeschalteten Kollektoren werden hohe Austrittstemperaturen erreicht. Ideal sind Kombinationen mit Schichtladesystemen. Der Low-Flow Betrieb bewirkt schlechtere Kollektorwirkungsgrade, über das Jahr gesehen werden meist höhere Erträge erreicht als mit High-Flow Anlagen, weil auch bei kurzzeitiger oder geringerer Einstrahlung sofort Nutzwärme abgegeben wird. Low-Flow Anlagen haben einen geringeren Druckverlust im Solarkreis. (*Bohmann Fachbuch, S.57*)

5.6.3.3 Matched Flow

Es werden die Vorteile von High-Flow und Low-Flow zum jeweiligen Betriebszustand optimiert. Dazu erforderlich ist ein optimales Speichermanagement mit drehzahl geregelter Betriebsart. (*Bohmann Fachbuch, S.57*)

6 Optimale Einbindung in ein Heizungssystem

Nach Rücksprache mit mehreren Solarherstellern, wie Solar Energy, Solution und Tisun, wurde immer wieder eines ganz deutlich. Eine Solaranlage ist nur so gut wie ihre Einbindung in das Heizungssystem. Auch wenn alle Komponenten wie in den vorhergehenden Kapiteln optimal ausgelegt und gewählt wurden, kann die Anlage durch eine falsche Verschaltung nicht den erwünschten Ertrag liefern.

6.1 Grundsätzlich ist zu beachten

In erster Linie ist der Anschluss an den Pufferspeicher ausschlaggebend. Unter einem Pufferspeicher (Puffer) versteht man einen Wärmespeicher in einer Heizungsanlage, der mit Wasser befüllt ist. Er dient dazu, Schwankungen zwischen der erzeugten und der verbrauchten Wärmeleistung auszugleichen. Auf diese Weise ist das unabhängige Betreiben der Systemkomponenten zur Wärmeerzeugung weitgehend gewährleistet. Hierdurch ergeben sich für viele Wärmeerzeuger ein besseres Betriebsverhalten (erhöht die Lebensdauer der Anlage) und ein besserer Wirkungsgrad (erhöht die Wirtschaftlichkeit und verkürzt die Amortisationszeit).

Nachteilig am Puffer ist der permanente Wärmeverlust, der sich durch die Temperaturdifferenz zwischen Speicherinhalt und Umgebung einstellt. Dies lässt sich jedoch mittels einer guten Wärmedämmung und Vermeidung von Wärmebrücken verringern. Als Faustregel für Zentralheizungen gilt, dass circa 60-70 Liter Pufferspeichervolumen pro installierter Kilowatt Heizleistung ein sinnvolles Verhältnis zwischen großem Puffervorrat und niedrigen Wärmeverlusten darstellen. (*Solarpraxis, Solarwärme, S.59*)

6.2 Speicher

Der Solarspeicher ist neben den Kollektoren das zweite zentrale Element einer Solaranlage. Im Speicher wird keine Wärme erzeugt, sondern nur „verwaltet“. Der Solarspeicher stellt die Schnittstelle zwischen der Solaranlage und dem Heizungssystem dar. Da das Energieangebot der Sonne und der Wärmebedarf zum Heizen zeitlich nicht übereinstimmen müssen, kommt der Wärmespeicherung besondere Bedeutung zu. (*Solarpraxis, Solarwärme, S.59*)

6.2.1 Belade- bzw. Entladevorgang

Beladevorgang: Sobald der Regler die Pumpe einschaltet, wird der Wärmeträger umgewälzt (Abb. 6.2.1.1). Dabei findet eine vollständige Durchmischung des Speichers statt, da der untere Wärmetauscher seine Wärme über Konvektion an das Trinkwasser abgibt. (*Solarpraxis, Solarwärme, S.59*)

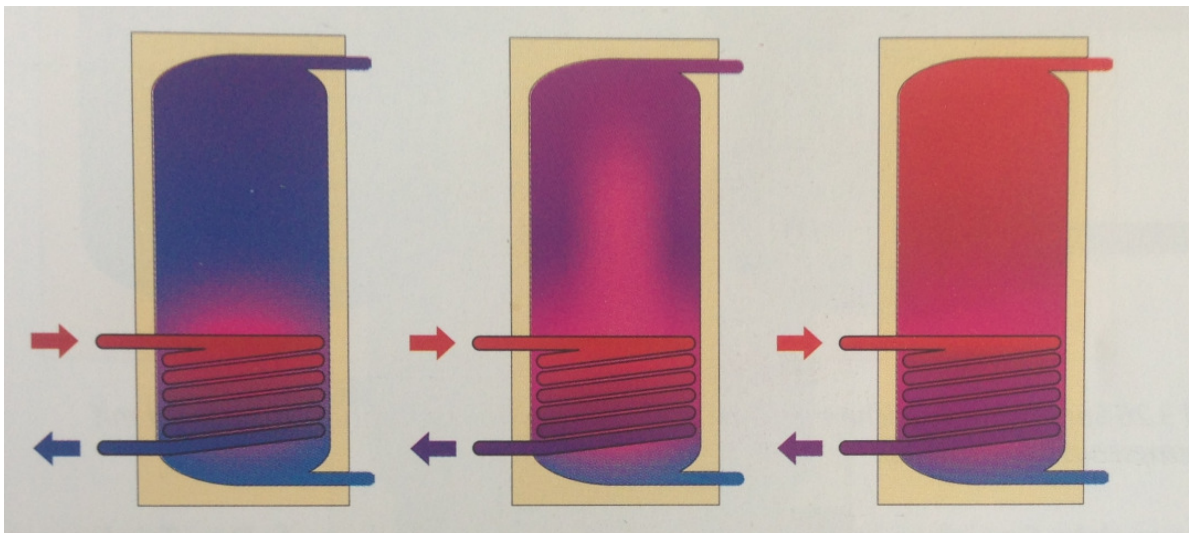


Abb. 6.2.1.1 Beladevorgang (*Solarpraxis, Solarwärme, S.59*)

Entladevorgang: Sobald warmes Wasser oben aus dem Speicher gezapft wird, fließt kaltes Wasser in den unteren Bereich des Speichers nach (Abb. 6.2.1.2). Es stellt sich eine Temperaturschichtung ein, die umso ausgeprägter ist, je höher und schlanker der Speicher gebaut ist. (*Solarpraxis, Solarwärme, S.59*)

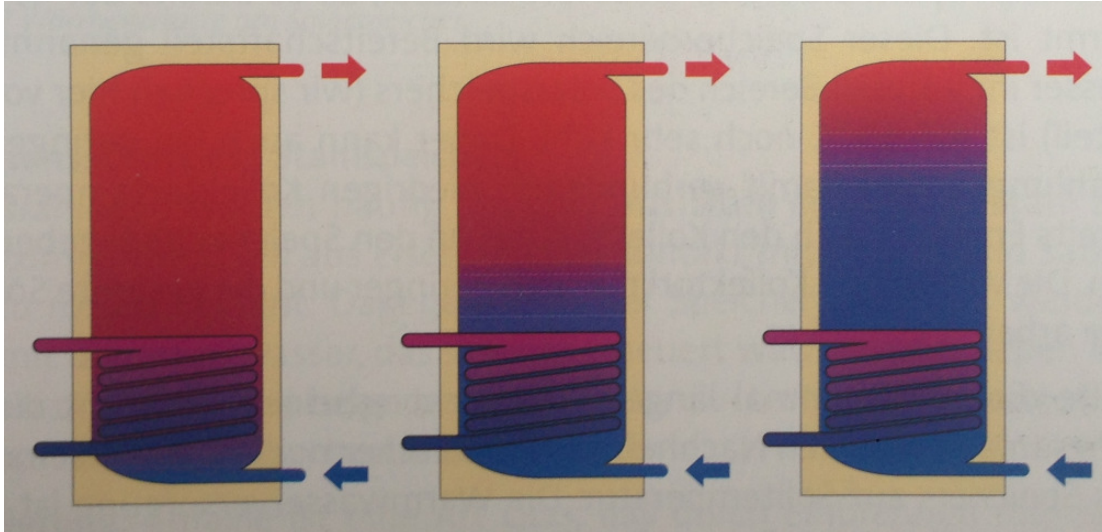


Abb. 6.2.1.2 Entladevorgang (*Solarpraxis, Solarwärme, S.59*)

Folgendes zeichnet einen guten Solarspeicher aus:

- Der Speicher passt hinsichtlich auf das Volumen und Anschlussmöglichkeiten in das energetische Gesamtkonzept
- Die Temperaturschichtung im Speicher ist möglichst ausgeprägt.
- Der Speicher weist geringe Verluste auf (ca. 1,5 kWh pro Tag bei einem 300-Liter-Speicher)
- Die Speicheranschlüsse sind sorgfältig gedämmt
- Der Kaltwasseranschluss weist Prallbleche oder geeignete Einbauten auf
- Die Wärmetauscherflächen sind ausreichend groß dimensioniert, der Solarwärmetauscher erreicht auch tiefliegende Speicherschichten und das Speichervolumen wird voll ausgenutzt
- Der Speicher ist temperatur- und druckbeständig
- Der Speicher ist gegen Korrosion geschützt

6.2.2 Schichtenspeicher

Ein Solarspeicher sollte in drei verschiedene Temperaturzonen eingeteilt werden und diese Zonen dürfen nicht miteinander vermischt werden. (Abb. 6.2.2.1)

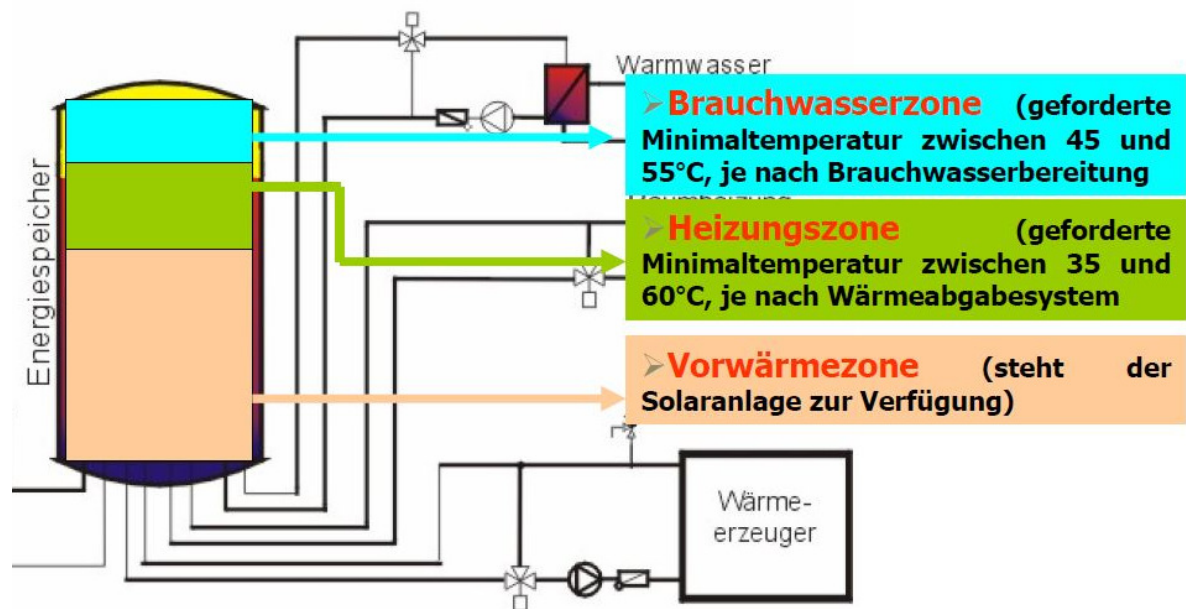


Abb. 6.2.2.1 Die Schichten eines Pufferspeichers (www.solarwaerme.at/11.07.2014)

Die oberste Zone dient der Warmwasserbereitung da hier die höchste Temperatur zu finden ist. Ob die Warmwasserbereitung nun mittels Frischwassermodule oder mit einem separaten Speicher erfolgt, die Versorgung sollte immer vom obersten Punkt des Pufferspeichers erfolgen. Die zweite Zone ist für die Raumheizung gedacht. In Verbindung mit einem Niedertemperatursystem (z.B. Fußbodenheizung) sind in dieser Zone die optimalen Temperaturen zu finden. Für eine Solaranlage ist die unterste Zone die sogenannte Vorwärmezone am wichtigsten. Dieser Speicherbereich sollte möglichst groß sein um die Wärme der Solaranlage speichern zu können. Der Rücklauf der Warmwasserbereitung und der Fußbodenheizung sollten nach Möglichkeit unter dem Vorlauf der Solaranlage sein oder zumindest auf gleicher Höhe. Somit wirkt sich die Temperatur der Rückläufe am wenigsten auf die Speichertemperatur aus. (*Klima-Aktiv, Solarwärme, Anlagenhydraulik, S.10*)

6.3 Optimierung mittels Schichtlademodul

Ein Schichtlademodul sieht in erster Linie wie eine Solarübergabestation aus (Abb. 6.3.1), unterscheidet sich aber deutlich davon. Mit einem Schichtlademodul besteht die Möglichkeit die Wärme der Solaranlage in die verschiedenen Schichten des Pufferspeichers zu leiten. Mit einer integrierten Regelung und zwei unabhängig voneinander steuerbaren Umwälzpumpen kann die Wärme dorthin transportiert werden wo sie gerade benötigt wird (Abb. 6.3.2).



Abb. 6.3.1 Schichtlademodul mit Plattenwärmetauscher (www.inocal.com/11.07.2014)

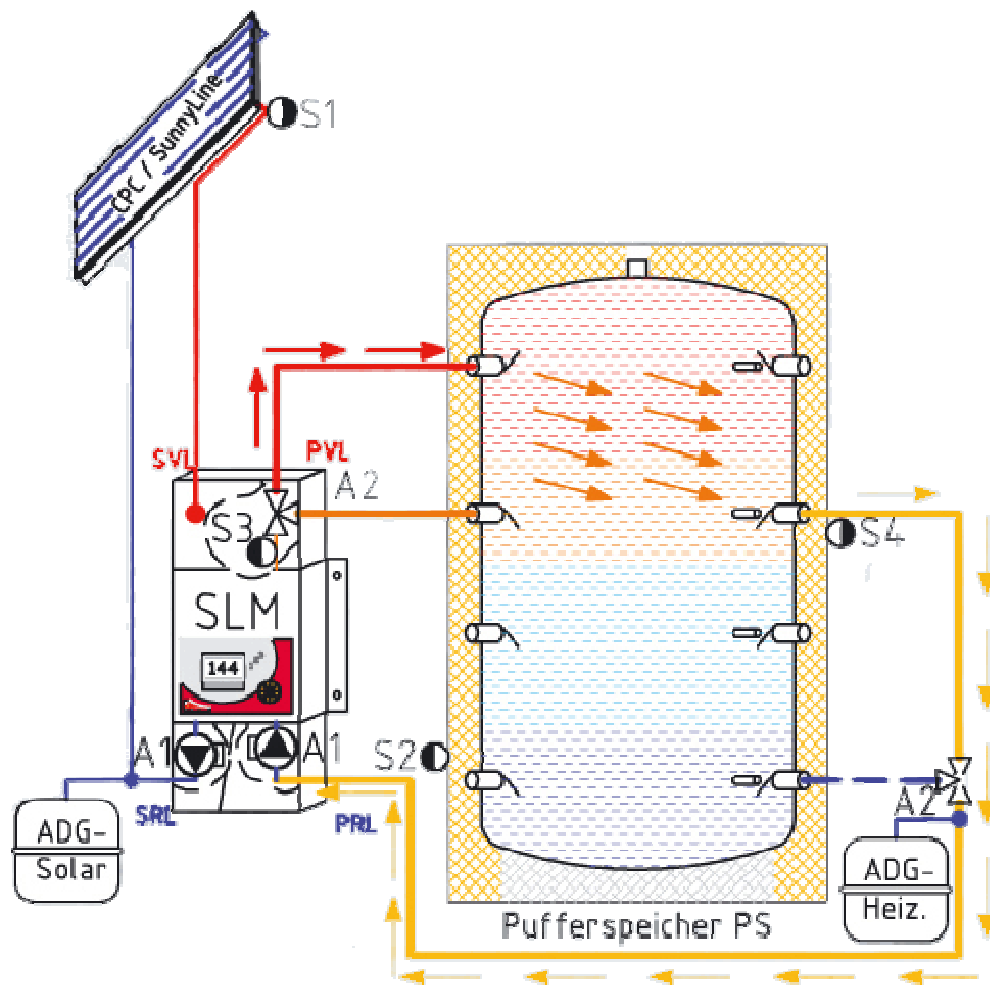


Abb. 6.3.2 Einbindung eines Schichtlademoduls (www.solarfocus.at/11.07.2014)

Wenn hohe Temperaturen von der Solaranlage geliefert werden, können diese sofort in den oberen Bereich des Speichers geleitet und somit gleich genutzt werden. Bei niedrigeren Temperaturen wird einfach der untere Bereich des Puffers geladen und dadurch wird die Solaranlage optimal genutzt. In welchen Bereich das Schichtlademodul die Wärme leiten soll, wird mittels Temperaturfühler ermittelt und von der Regelung gesteuert. (www.solarfocus.at/11.07.2014)

Vorteile eines Schichtlademoduls:

- Einschichtung der Energie in den richtigen Bereich des Pufferspeichers
- Erhöhung der Ausnutzung der Sonnenenergie
- Geringere Betriebsstunden beim Hauptheizungssystem
- Ausfallsicherheit durch zwei Pumpen

6.4 Optimierung der Regelung

Es ist leicht nachzuvollziehen, dass nur zweckmäßig ausgewählte Regelfunktionen und Einstellwerte für eine möglichst hohe Effizienz bei der Steuerung sorgen können. Hier anhand eines Beispiels, aus dem Artikel von Karl-Heinz Mentzel über Solarplanung, erläutert.

Beispiel:

- Für die Solarpumpe ist ein Δt ein von 8 Kelvin (K) und ein Δt aus von 4 K eingestellt
- Sensor 1 (S1) befindet sich am Kollektor
- Sensor 2 (S2) befindet sich in Höhe des Solarwärmetauschers am Speicher

Hat der Speicher aktuell am S2 eine Temperatur von 30°C, würde in diesem Fall die Solarpumpe erst dann anlaufen, wenn die Temperatur am S1 auf 38°C (30°C + 8K) angestiegen ist. Unglücklicherweise wird durch diese Einstellung wertvolle Energie bei z.B. leichter Bewölkung verschenkt. Da der Kollektor nur 35°C erreicht, schaltet sich die Solarpumpe nicht ein. Für die Optimierung dieser Funktion können zunächst verschiedene Aufgaben entscheidend sein.

Fall a)

Im Sommer gibt es wie zuvor erwähnt bei allen Solaranlagen für die Heizungsunterstützung eine Überkapazität, da in diesem Zeitraum nicht geheizt werden muss. Soll die Abschaltung von Anlagen, mit der damit verbundenen erhöhten thermischen Belastung der Komponenten durch Stagnation, vermindert werden, so schaden die sommerlichen Verluste nicht.

Fall b)

In der gesamten restlichen Jahreszeit, in der das Ziel ist, möglichst wenig mit konventionellen Energieträgern nachheizen zu müssen, ist der solare Höchstertag gewünscht. Hier wird empfohlen, die Ein- und Ausschaltdifferenzen mit möglichst niedrigen Werten festzulegen. Dadurch kann die Wärme schneller genutzt werden.

Beispiel lt. Mentzel:

„Der Regler lässt bei der Eingabe der Temperaturdifferenzfunktion (Δt Funktion) Schritte von 0,5 K zu. Da die Einschalttemperaturdifferenz (Δt ein) höher als die Ausschaltdifferenz (Δt aus) sein muss, wären als kleinste Werte möglich:

$$(\Delta t \text{ ein}) = 1,0 \text{ K} \quad \text{und} \quad (\Delta t \text{ aus}) = 0,5 \text{ K}$$

Der Regler würde also so arbeiten, dass bei einer angenommenen Temperatur von 40 °C am Speicherfühler die Solarladepumpe dann zugeschaltet wird, sobald die Temperatur am Kollektorfeld den Wert von 41 °C (40 °C + 1 K) erreicht hat. Die Solarpumpe wird wieder abgeschaltet, falls die Temperaturdifferenz von Kollektorfühler zu Speicherfühler auf 0,5 K gesunken ist.“

Würde der erhöhte Bedarf an Hilfsenergie (Solarpumpe) und der Temperaturabfall im Solarvorlauf vernachlässigt werden, wäre ein Einstellwert von 0,5 K für das (Δt aus) in Ordnung. Natürlich empfiehlt es sich, diese Systemverluste zu berücksichtigen und angemessene Schaltwerte zu finden.

Für ein herkömmliches Einfamilienhaus mit üblichen Leitungslängen von ca. 10 bis 15 m zwischen Kollektorfeld und Speichereingang sowie üblicher, lückenloser Dämmung und einem ausreichend dimensionierten Leitungsnetz sind meist Werte von

$$(\Delta t \text{ ein}) = 3,0 \text{ K} \quad \text{und} \quad (\Delta t \text{ aus}) = 2 \text{ K}$$

sinnvoll.

Sollten hohe solare Deckungsgrade gewünscht, eine optimierte Dämmung vorhanden oder aus mehreren Gründen ein genauerer Nachweis erforderlich sein, lohnt sich die Definition der Schaltwerte auf Basis einer Berechnung und/oder Messung. Bei dieser Messung des Temperaturabfalls zwischen Kollektorausgang und Speichereingang sollte eine mittlere Strahlungsintensität vom jeweiligen Standort vorliegen, somit ist es möglich auch für den Anlagenbetrieb über das Jahr gesehen zu optimalen Ein- und Ausschaltwerten zu gelangen.

Damit der zusätzliche Solarertrag durch niedrige Ausschaltdifferenzen in einem preiswerten Verhältnis zu den Stromkosten bei erhöhter Laufzeit der Solarpumpe steht, ist der Einbau einer drehzahlgeregelten oder besser einer Hocheffizienzpumpe zu empfehlen. Lag der Stromverbrauch einer starren Pumpe bei 400-600 kWh (115-172€) pro Jahr, so liegt er mit einer Hocheffizienzpumpe bei ca. 50-100 (14-29€) kWh pro Jahr (*Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 24*).

6.5 Reduzierung der Wärmeverluste

Bei solarthermischen Anlagen entstehen bei allen Medium führenden Anlagenteilen vom Kollektor bis zum Speicher bzw. der Heizkreiseinbindung Wärmeverluste. Da bei einem Kollektor als fertige Einheit beim Wärmeschutz kaum Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden sind, hier reduziert sich die Einflussnahme auf verbesserte Reglereinstellungen bzw. eine wirtschaftliche Betriebsweise, müssen die Verluste bei den Rohrleitungen inkl. Speicher vermindert werden (*Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 26*).

6.5.1 Speicherverluste

Die Solarspeicher werden normalerweise mit einer eigens verpackten Speicherdämmung angeliefert (Abb. 6.5.1.1). Neben dem Dämmelement für den Speichermantel wird die Dämmung für den Speicherboden und den Speicherdeckel separat geliefert. Der Grund dafür ist der Schutz der Dämmung vor Transportschäden bei der Anlieferung und beim vertragen auf der Baustelle. (*Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 26*).



Abb. 6.5.1.1 Pufferspeicher inkl. Dämmung (www.i.ebayimg.com/11.07.2014)

Auf die lückenlose Ausführung der Dämmung sollte größter Wert gelegt werden. Die Dämmung muss dicht am Speicher anliegen, um Luftströmungen zwischen Speicher und Dämmung auszuschließen. Nicht benutzte Anschlussstutzen sollten wenn möglich überdämmt werden um keine Wärmebrücken zu bilden. Besonderes Augenmerk ist den Anschlussverlusten zu widmen. Während der Speichermantel meist mit einer Dämmstärke ab 100 mm, bezogen auf die Wärmeleitfähigkeit $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgestattet ist, werden im Regelfall in der Praxis die Rohrleitungsanschlüsse nur sehr dürrtig bis gar nicht gedämmt. Dabei ist die Lückenlose Dämmung bis an die Speicherdämmung fast wichtiger als die Einhaltung der Dämmstärke, da bereits kleinste Lücken zu enormen Anschlussverlusten führen können, die in Summe die Verluste der Speicherwandung übertreffen können.

Werden Speicher ohne Bodendämmung geliefert, sollte diese unbedingt angefertigt werden. Bei schweren Ausführungen mit einem umlaufenden Stehring am Boden des Speichers ist ggf. zu empfehlen, über kleine Bohrungen am Stehring diesen mit einem isolierenden Bauschaum auszufüllen. Dabei muss auf eine Materialverträglichkeit von Bauschaum und Speichermantel geachtet werden (*Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 26*).

6.5.2 Anschlussverluste

An den Anschlüssen der Pufferspeicher findet in den Zeiträumen ohne Energieabnahme eine innere Zirkulation statt. Wärmeres Wasser steigt bei vertikal abgehenden Rohren auf bzw. strömt bei horizontal abgehenden Rohren an der oberen Innenseite ab. Mit steigender Distanz zum Speicher kühlt dieses Wasser ab und strömt zurück. Durch diese Gegenstromzirkulation entstehen höhere Temperaturen an den angrenzenden Rohrleitungen und erhöhen die Verluste. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, diese Einbußen zu reduzieren.

Eine Methode wäre, eine Siphonierung vorzunehmen. Einige Speicherhersteller liefern Speicher mit derartigen Abgängen, die Siphonierung kann aber auch bauseits durch den Installateur vorgenommen werden (Abb. 6.5.2.1) (*Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 27*).

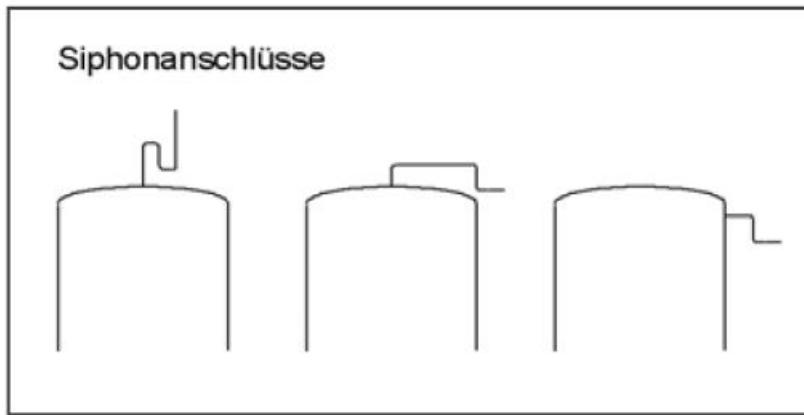


Abb. 6.5.2.1 Siphonierung (Solarplanung, K.H. Mentzel, S.27)

6.5.3 Rohrleitungsverluste

Rohrleitungsverluste beschreibt Mentzel in seinem Artikel wie folgt:

„Die Bewertung von Verlusten durch Rohrleitungen unterscheidet sich gegenüber der Betrachtung von Speichern dadurch, dass in Rohrleitungen vergleichsweise starke Strömungen stattfinden. Die Fluide strömen im inneren Rohrquerschnitt laminar, also gleichförmig, an der Rohrwandung dagegen turbulent. Die turbulente Strömung wird durch verschiedene Bedingungen (Strömungsgeschwindigkeit, Querschnittsänderung, Richtungsänderung, Viskosität des Fluids, Rauigkeit der inneren Rohrwandung) beeinflusst und wirkt so maßgeblich auf die Druckverluste und die notwendige Dimensionierung der Rohre.“ (Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 28)

Weiters erklärt Mentzel, dass durch die turbulente Strömung die Wärmeübertragung vom Fluid auf die Rohrwandung verändert wird, sodass bei der Berechnung der Rohrverluste eine erweiterte Betrachtung nötig wird.

Im Grenzbereich zwischen rechnerisch zwei denkbaren Rohrdimensionen können folgende Charakteristiken zur Entscheidungsfindung herangezogen werden.

- Unterschied der Rohrwärmeverluste bei den Dimensionen, wertmäßige Bestimmung aufs Jahr berechnet
- Kostendifferenz für Material und Montage, Annuitäten pro Jahr
- Ist Option einer ggf. späteren Erweiterung der Anlage gewünscht

6.6 Stagnation vermeiden

Da Solaranlagen wie bereits mehrfach erwähnt im Sommer zwangsläufig mehr Energie liefern, als Wärmebedarf vorhanden ist, kann es vermehrt zur Stagnation kommen. Ist der Speicher beladen (maximale Temperatur erreicht), geht die Solaranlage vorübergehend außer Betrieb. Dabei kommt es bei Flachkollektoren zur Verdampfung des Wärmeträgermediums, der sogenannten Stagnation. In diesen Phasen herrschen hohe Temperaturen, welche die Anlagenteile einschließlich der Solarflüssigkeit thermisch belasten.

Energetisch betrachtet wäre es sinnvoll diesen Überschuss für kältere Zeiten zu speichern. Es sprechen mehrere Perspektiven dafür, ein Überschussmanagement zu führen. Länger anhaltende thermische Belastungen setzen der Solarflüssigkeit zu. Sie ist regelmäßig zu kontrollieren und gegebenenfalls zu erneuern. Auch Dichtungen und andere Komponenten können schneller altern und so zum Anlass für erhöhten Wartungs- oder Reparaturaufwand werden.

Als Lösungen, auch miteinander gekoppelt, kommen in Betracht:

- Saison- bzw. Langzeitspeicherung
- Wärmeableitung in Schwimmbecken
- Rückkühlung in der Nacht über Kollektorfläche
- Zeitweise Aktivierung anderer Reglereinstellungen
- Einspeisung über Sonden bei Wärmepumpen
- Sonstige Verwertung (technologische Prozesse, Verkauf)

(Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 28)

7 Wirtschaftlichkeit

Ist von einem Kosten-Nutzen Verhältnis die Rede, lässt sich die Amortisationszeit nach einem simplen statischen Verfahren oder einem betriebswirtschaftlichen genaueren Verfahren betrachten.

Die statische Betrachtungsweise ist um einiges einfacher herzuleiten. Sind die Höhe der jährlich anfallenden Kosten und die jährlichen Einsparungen bekannt, lassen sich die jährlichen Kosten durch die Einsparungen dividieren und man erhält eine einfache Amortisationszeit für das eingesetzte Kapital.

Da die Investitionen in Energiesparmaßnahmen sinnvoller Weise für einige Jahre wirken, ist es richtig, auch die Einspareffekte in einem längeren Zeitraum zu betrachten. Durch die zum Teil steigende Nachfrage und aufgrund der endlichen Ressourcen bei den fossilen Energieträgern, ist tendenziell immer mit steigenden Energiepreisen zu rechnen. Anders ausgedrückt die Preise für Öl, Gas und Co. werden bei der Preisentwicklung sicher weiterhin Schwankungen unterliegen, tendenziell aber mit Sicherheit immer weiter steigen.

Es ist davon auszugehen, dass die durch eine Energiesparmaßnahme erzielte Einsparung in den Folgejahren einen erheblichen Wertzuwachs erfährt. Um eine längerfristige Betrachtung durchführen zu können, wäre die Berücksichtigung eines Energiepreis-Steigerungsfaktors zu empfehlen. Mit der Berücksichtigung des Zinsaufwandes und einer Energiepreissteigerung ist eine betriebswirtschaftlich angemessene Berechnung möglich.

Die Höhe der Energiepreissteigerung, sollte jeder individuell einschätzen. Der Vergleich zwischen alten und neuen Energiekostenrechnungen kann hierfür ebenso hilfreiche Informationen liefern wie einige Publikationen im Internet. Interessant ist z.B. die Darstellung zur Entwicklung der Rohölpreise seit 1965 bis heute auf www.tecson.de (Abb. 7.1) (*Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 37*).

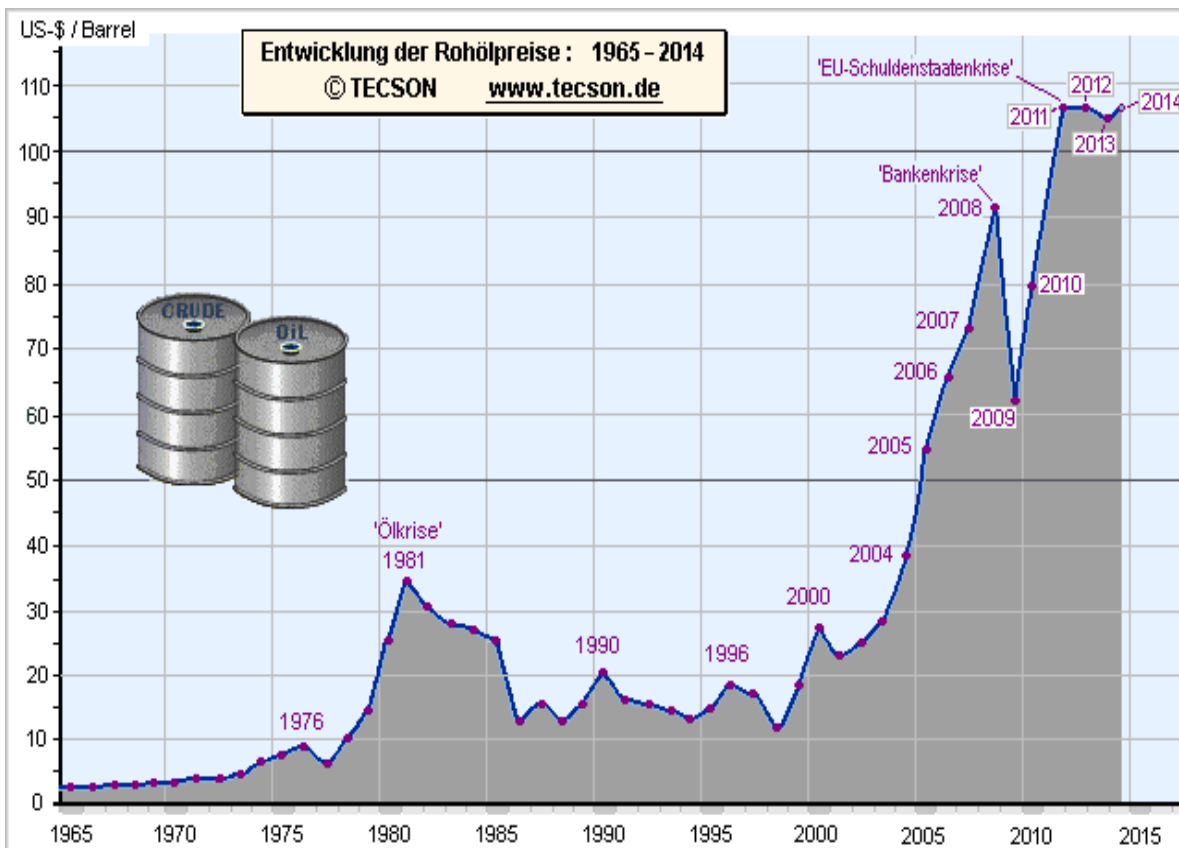


Abb. 7.1 Entwicklung Rohölpreise (www.tecson.de/13.07.2014)

7.1 Amortisationsdauer berechnen

Die Wirtschaftlichkeit einer Ausführung wird durch die Amortisationsdauer (n) der Investition angegeben. Je kürzer die Amortisationszeit, umso wirtschaftlicher ist eine Maßnahme. Bei hohen Werten für das Kosten/Nutzen-Verhältnis ist eine Wirtschaftlichkeit nur dann gegeben, wenn der Faktor der Energiepreissteigerung größer als der Zinsfaktor ist.

Mentzel rechnet Amortisationsdauer nach folgender Formel:

$$n = \frac{\lg[1 + \frac{l}{e} \cdot (q_2 - q_1)]}{\lg \frac{q_2}{q_1}}$$

n = Amortisationsdauer [a]

l = Investition [€]

e = Einsparung [€/a]

q_1 = Zinsfaktor

q_2 = Energie-Preissteigerungsfaktor

Die Einsparungen im ersten Jahr werden zunächst durch die Kosten der eingesparten Energieträger, gegebenenfalls durch weitere wiederkehrende Einsparungen bei laufenden betriebsgebundenen Kosten gebildet.

Mit Hilfe einer Solarertragssimulation kann durch den solaren Deckungsgrad das prozentuale Ersparnis von konventionellen Energieträgern berechnet und als Einsparung [€/a] hergeleitet werden. Die Investition I und der Zinsfaktor q_1 sind bekannt, der Energie-Preissteigerungsfaktor q_2 ist individuell einzuschätzen.

Erzielt eine Energiesparmaßnahme wie z.B. baulicher Wärmeschutz, neben der Absenkung beim Energiebedarf weitere Spareffekte bei Investitionen wie z.B. nachfolgend zu montierende, kleinere und kostengünstigere Anlage zur Wärmezeugung, so kann dieser Effekt ebenfalls der Wärmeschutzmaßnahme zugeordnet werden und die vermiedenen Investitionskosten zur direkten Energiekosteneinsparung hinzu gerechnet werden (*Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 37*).

7.2 Ermittlung der Annuität

Ist ein direkter Vergleich der anteiligen, jährlichen Investitionskosten mit den jährlichen Einsparungen erforderlich, so ist eine Annuitätsberechnung zu erstellen. Hierbei sind gleichbleibende jährliche Zahlungen (Annuität A) bei sinkendem Zins- und steigendem Tilgungsanteil geleistet worden. Durch die regelmäßige Belastung für den Kapitaldienst ist somit für die Dauer der Finanzierung eine feste Größe bestimmbar.

Mentzel rechnet die Annuität nach folgender Formel:

$$A = I \cdot a = \frac{I \cdot p \cdot (1 + p)^n}{(1 + p)^n - 1}$$

A = Annuität [€/a]

I = Investition [€]

n = Nutzungsdauer [Jahre]

p = Zinssatz

a = Annuitätsfaktor [%]

Die gesamten, finanziellen Auswirkungen einer Investition lassen sich erst durch eine umfassende Analyse, z.B. durch einen Vollkostenvergleich ermitteln. Dabei ist eine Vorher-Nachher-Rechnung (bzw. ein Variantenvergleich) aufzustellen. Neben den Finanzierungskosten sind die veränderten Energielos und gegebenenfalls weitere Änderungen bei den betriebsgebundenen Kosten zu betrachten.

Typische betriebsgebundene Kosten sind z.B.: Kosten für Wartung, Schornsteinreinigung, Emissionsmessung, Lieferung, Heizkostenabrechnung.

Einem Energieberater ist es möglich neben den Energiekosteneinsparungen durch energieeffiziente Schritte bei Bedarf auch deren Wirtschaftlichkeit darzustellen. Für die Annahme des Energiepreissteigerungsfaktors ist zu empfehlen, eine Absprache mit dem Auftraggeber vorzunehmen. Unterschiedliche Bewertungen oder ein „Schönrechnen“ von Energiesparmaßnahmen lassen sich so vermeiden (*Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, S. 38*).

8 Fazit und Ausblick

Ich habe mich während der Erstellung meiner Arbeit massiv mit der Thematik „Heizungsunterstützung mittel Solarthermie“ beschäftigt. Zunächst schaute ich mir einige von meiner Firma errichteten Solaranlagen im Genauen an. Ich stellte fest, dass es durchaus einige gab bei denen das eine oder andere besser gemacht werden könnte. Sei es nun die Anordnung der Kollektoren am Dach, die Verrohrung, die Isolierung oder die Anbindung an den Speicher, es waren die wenigsten „perfekt“.

Mir ist natürlich bewusst, dass die Praxis öfters stark von der Theorie abweichen kann und es einem nicht immer möglich ist genau nach dem Lehrbuch vorzugehen. Sei es nun aus finanziellen Gründen, aufgrund der Gegebenheiten oder einfach nur weil es die Planung nicht zulässt, es wird so gut wie kaum eine „perfekte“ Anlage geben.

Ich habe mit dieser Diplomarbeit versucht einen Weg aufzuzeigen, wie man zumindest die wichtigeren Komponenten richtig auslegt um eine optimale Heizungsunterstützung zu erzielen. Ich werde ganz bestimmt die Erkenntnisse, die ich im Laufe meiner Arbeit gesammelt habe, bei meinen zukünftigen Projekten einfließen lassen und hoffe damit mögliche Fehler zu vermeiden und die eine oder andere Anlage zu optimieren und somit ertragreicher zu machen.

Thermische Solaranlagen oder besser gesagt die Nutzung der solaren Energie wird immer wichtiger werden. Wenn die endlichen Ressourcen verbraucht sind, werden Solaranlagen neben Wärmepumpen mit Sicherheit eine der Hauptheizungssysteme sein. Ziel ist es meiner Meinung nach ein komplett autarkes System zu errichten, dass nur mittels solarer Nutzung betrieben wird und keine Energie von außen benötigt um zu funktionieren. Dies ist zurzeit noch nicht möglich, da noch einige Themen nicht überbrückt werden können wie z.B. kein solarer Ertrag in der Nacht, Langzeitspeicherung der Energie. Hier muss noch einiges an Forschung betrieben werden aber wir sind auf einem guten Weg.

Literaturverzeichnis

- | | |
|------------------------------|--|
| Stielitz/
Heinzel
2012 | Stieglitz, Robert; Heinzel, Volker: Thermische Solaranlagen:
Grundlagen, Technologie und Anwendung
Berlin, Springer-Verlag, 2012 |
| Bohmann
2003 | Wagner, Harald; Schlagnitweit, Helmut: Sanitär- und Klimate-
chnik: Heizungs- und Lüftungsinstallation
Wien, Jugend & Volk Wien GmbH, 2003 |
| Effelsberg
2012 | Effelsberg, Heinz: Solaranlagen an Dach und Fassade
Köln, Rudolf Müller GmbH, 2012 |
| Bohmann
2003 | Wagner, Harald; Schlagnitweit, Helmut: Sanitär- und Klimate-
chnik: Gas- und Wasserinstallation
Wien, Jugend & Volk Wien GmbH, 2003 |
| RSS
2006 | Recknagel, Hermann; Sprenger Eberhard; Schramek Ernst-
Rudolf: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik
München, Oldenburg Industrieverlag, 2006 |
| Stempel
2007 | Stempel, Ulrich: Thermische Solaranlagen für Alt- und Neu-
bauten selbst Planen und Installieren
Poing, Franzis Verlag GmbH, 2007 |
| Hanus
2007 | Hanus, Bo: Solar-Dachanlagen selbst planen und installieren
Poing, Franzis Verlag GmbH, 2007 |
| Solarpraxis
2009 | Solarpraxis AG, Sonnenwärme für den Hausgebrauch
Berlin, Solarpraxis AG, 2009 |

- Mentzel
2010 Mentzel, Karl-Heinz: Solarplanung, Optimierung einer
Solarwärmeanlage
URL:[http://www.sonnenbahn.de/fileadmin/pdfs/Solarplanung_
Optimierung_Solarstromanlage_S.pdf](http://www.sonnenbahn.de/fileadmin/pdfs/Solarplanung_Optimierung_Solarstromanlage_S.pdf),
verfügbar am 13.07.2014
- Schulz,
Westkämper
2013 Schulz, Marion; Westkämper, Hubert: Die neue Heizung,
Umweltfreundlich und wirtschaftlich heizen mit Gas, Holz,
Strom und Sonnenenergie
Freiburg, Ökobuch Verlag, 2013
- H/J
2004 Hadamovsky, Hans-Friedrich; Jonas, Dieter: Solarstrom So-
larthermie
Würzburg, Vogel Buchverlag, 2004
- VKI
2008 Kisser, Erwin: Solaranlagen, Kosten, Rentabilität, Förderun-
gen; Alle Systeme für Heizung und Warmwasser; Photovolta-
ik: Strom vom Himmel
Wien, Verein für Konsumenteninformation, 2008

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ohlsdorf, den 23.07.2014

Mirel Kandzetovic